

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ **Юрій КИРИЧУК**

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології
проекування приладів»**

**спеціальності 151 - «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ»**

**на тему: «Контактно-вимірювальна система координатно-вимірювальної
машини»**

Виконав:

студент 4-го курсу, групи ПМ-91

Гришин Данііл Олегович _____

Керівник:

Асистент, к. АСНК

к.т.н. Котляр С. С. _____

Рецензент:

к.т.н., доцент

Козир О. В. _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент Гришин Данііл _____

Київ – 2023 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Пояснювальна записка	63	
3	A3	<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.01.ТК</i>	Щуп	1	
4	A1	<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.02.ТЗ</i>	Деформація щупа	1	
5	A3	<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.03.ТК</i>	Пружина	1	
6	A3	<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.04.ТК</i>	Корпус датчика	1	
7	A1	<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.05.ТЗ</i>	ЗД - модель	1	
8	A1	<i>ДПБ.ПМ-91.04.176006.СхЕ</i>	Датчик дотику	1	
9	A3	<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.07.СхС</i>	Структурна схема перетворення лінійного/кутового параметру	1	
10	A1	<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.08.СК</i>	Контактно-вимірювальна голівка	1	

				<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ДП</i>	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.				Відомість дипломного проєкту	Лист
Керівн.					1
Консульт.					Листів
Н/контр.					1
Зав.каф.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-91

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Контактно-вимірювальна система координатно-
вимірювальної машини»

Київ – 2023 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування
приладів»

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Гришину Даніілу Олеговичу

1. Тема проєкту «Контактно-вимірювальна система координатно-вимірювальної машини», керівник проєкту Котляр Світлана Сергіївна, к.т.н., затверджені наказом по університету від «30» 05.2023 р. №2057-с
2. Термін подання студентом проєкту _____
3. Вихідні дані до проєкту: вид обладнання – координатно-вимірювальна машина, вид системи вимірювання - контактно-вимірювальна система, застосування – вимірювання геометричних параметрів виробів, чутливий елемент – контактний щуп, умови застосування – всередині приміщення, температура 15-30°C, відносна вологість 40-80%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) вступ, геометричні параметри виробів, аналітичний огляд типів КВМ, принципів роботи датчиків, проєктний розділ, розрахунок шупа та пружини, датчик дотику, схеми, висновки, список використаних джерел.

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, тощо): схема ФА1 – 1 шт., складальний кресленик ФА1 – 1 шт., креслення деталей ФА3 – 3 шт., 3Д-модель ФА1 – 1 шт., структурна схема ФА3 = 1 шт., деформація шупа ФА1 – 1 шт.

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Ознайомлення з завданням ДП	12.04.2023	
	Проведення огляду літературних джерел	13.04-20.04.2023	
	Проведення огляду та аналізу аналогів	21.04-27.04.2023	
	Огляд принципів вимірювання та датчики, що застосовуються в контактнo-вимірювальних машинах	27.04-30.04.2023	
	Виконання проєктно-конструкторського розділу	01.05-16.05.2023	
	Підготовка графічних матеріалів	17.05-27.05.2023	
	Підготовка пояснювальної записки	28.05-05.06.2023	
	Подання ДП для перевірки та отримання відгуку від дипломного керівника	12.06.2023	
	Подання ДП на рецензію	12.06.2023	
	Захист ДП	19.06.2023	

Студент

Данііл ГРИШИН

Керівник

Світлана КОТЛЯР

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт містить в собі вступ, три розділи, висновки та перелік посилань. Диплом включає в себе 64 сторінок, в тому числі 14 рисунків, список посилань.

Мета дипломного проєкту – розробка контактної-вимірювальної голівки для координатно-вимірювальної машини.

Для досягнення поставленої мети були виконані наступні завдання: детально розглядаються геометричні параметри виробів та їх контроль, аналіз поширених видів КВМ та на яких датчиках вони працюють; було проаналізовано методику роботи різних видів датчиків.

Зпроектованні кресленики щупу, пружини, датчика. Проведено розрахунки щупа на міцність, розрахунок пружини. Розробка та аналіз структурної схеми автоматичного перетворення лінійного чи кутового параметру.

Ключові слова: координатно-вимірювальна машина, датчик, геометричні параметри, вимірювальна голівка.

ABSTRACT

The diploma project contains an introduction, three sections, conclusions and a list of references. The diploma includes 64 pages, including 14 figures, a list of references.

The goal of the diploma project is the development of a contact measuring head for a coordinate measuring machine.

To achieve the goal, the following tasks were performed: the geometric parameters of the products and their control are examined in detail, the analysis of the common types of CVM and on which sensors they work; the method of operation of various types of sensors was analyzed.

Projected drawings of dipstick, spring, sensor. Calculations of the strength of the probe, calculation of the spring were carried out. Development and analysis of the structural diagram of the automatic transformation of a linear or angular parameter.

Keywords: coordinate measuring machine, sensor, geometric parameters, measuring head.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	9
ВСТУП	10
1 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	12
1.1 Геометричні параметри виробів	12
1.2 Огляд систем контролю геометричних параметрів виробів	15
1.3 Опис принципів вимірювання, якими датчиками, на яких принципах роботи	21
1.4 Координатно-вимірювальні машини	25
1.5 Поширені типи КВМ.....	34
1.6 Голівки координатно вимірювальної машини.....	388
1.7 Датчики вимірювальних голівок КВМ.....	422
ВИСНОВКИ ТЕОРЕТИЧНОГО РОЗДІЛУ	466
2 ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	477
2.1 Розрахунок щупа	477
2.2 Розрахунок пружини	533
2.3 Датчик дотику	577
2.4 Контактно вимірювальна голівка	599
ВИСНОВКИ ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО РОЗДІЛУ	622
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	633
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	644

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Гришин Д. О.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Котляр С. С.</i>			8	65	
<i>Н. Контр.</i>					<i>Зміст</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Котляр С. С.</i>			<i>4 курс, ПБФ</i>		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КВМ - Координатно-вимірювальна машина.

CAD - Система автоматизованого проектування (від англ. Computer-aided design).

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач.

P – тиск, [Па].

m – маса, [кг].

g – прискорення вільного падіння, [м/с²].

F – навантажена зосереджена сила, [Н].

U – напруга, [В].

S – площа, [м²].

σ – нормальне напруження, [Па].

t – час, [с].

L, l – довжина, [м].

G – модуль зсуву, [Па].

D, d – діаметр, [м].

A – площа поперечного перерізу, [м²].

V – об'єм, [м³].

ρ – густина, [кг/м³].

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ВСТУП

У сучасному промисловому виробництві точність та якість виготовлення виробів є надзвичайно важливими факторами. Вимоги до розмірів, форми та положення деталей стають все більш жорсткими, і виробники повинні забезпечувати відповідність цим вимогам. Одним із ключових інструментів, що забезпечують вимірювання точності та контроль виробництва, є координатно-вимірювальні машини (КВМ). Координатно-вимірювальні машини є ключовим інструментом для контролю цих параметрів, і вдосконалення контактних-вимірювальних систем дозволяє досягти більшої точності та ефективності в процесі контролю виробництва.

Координатно-вимірювальна машина (КВМ) є комплексним пристроєм, який використовується для вимірювання геометричних параметрів виробів з високою точністю та повторюваністю. Вона дозволяє контролювати розміри, форму, положення та інші характеристики деталей, забезпечуючи відповідність їхніх специфікаціям та вимогам якості.

Однак, успішне використання КВМ залежить від ефективної контрольної системи, яка включає контактну-вимірювальну систему. Контактна-вимірювальна система є основним інтерфейсом між деталлю, яка вимірюється, та самою КВМ. Вона складається з датчиків, зондів та програмного забезпечення, що дозволяють здійснювати точні вимірювання з високою роздільною здатністю.

Основні завдання контактної-вимірювальної системи полягають у забезпеченні точності, повторюваності та надійності вимірювань. Вона має здатність коректно реагувати на зміни у геометрії деталей та забезпечувати стабільну роботу протягом тривалого часу без втрати точності. При розробці контактної-вимірювальної системи велику увагу слід приділити вибору підходящих датчиків, розробці алгоритмів обробки даних та налагодженню високоефективного програмного забезпечення.

Технологічний прогрес у сфері датчиків, зондів та програмного забезпечення створює нові можливості для розвитку контактних-вимірювальних систем. Високочутливі сенсори, швидкісна передача даних, розширені алгоритми обробки інформації - це лише кілька засобів, які можуть сприяти поліпшенню точності та

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надійності вимірювань. Розробка нових методів та технологій у цій галузі важлива для забезпечення конкурентоспроможності підприємств.

Вдосконалення контактних-вимірювальних систем сприяє автоматизації процесу контролю. Швидкість та точність вимірювань є критичними факторами в сучасному виробничому середовищі, і автоматизовані контактні-вимірювальні системи можуть значно покращити продуктивність та ефективність процесу контролю.

Отже, актуальність дослідження та розробки контактних-вимірювальних систем для координатно-вимірювальних машин очевидна. Це сприятиме підвищенню якості виробництва, зменшенню відхилень від заданих параметрів, збільшенню ефективності вимірювань та підтримці конкурентоспроможності підприємств.

Метою даного дипломного проекту є розробка контактної-вимірювальної системи для координатно-вимірювальної машини, яка буде забезпечувати високу точність та надійність вимірювань. В рамках проекту планується дослідження різних типів датчиків, їхній вибір та оптимізація для досягнення максимальної точності, розрахунок елементів вимірювальної голівки.

Очікується, що результати цього дипломного проекту сприятимуть покращенню якості виготовлення продукції та забезпечать ефективний контроль виробництва. Крім того, розроблена контактна-вимірювальна система матиме потенціал для подальших розвитків і вдосконалень у сфері вимірювальної техніки.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Геометричні параметри виробів

Завдяки розвитку технологій, сьогодні доступні різноманітні методи та засоби контролю геометричних параметрів, які дозволяють досягати високої точності вимірювань та підтримувати відповідний рівень якості виробів. Геометричні параметри виробів є важливими характеристиками, які визначають їхню форму та розміри. Для забезпечення високої якості та точності виготовлення виробів, необхідно контролювати ці параметри.

Геометричні параметри включають в себе різні характеристики, такі як:

- довжини, ширини та висоти виробу;
- діаметри та радіуси виробу;
- кутові розміри виробу, такі як кут нахилу та кутові розміри;
- плоскість та прямокутність поверхонь виробу;
- відхилення від заданих форм та розмірів виробу.

У цьому розділі будуть розглянуті різні методи та засоби контролю геометричних параметрів виробів, а також їх переваги та недоліки. Також будуть проаналізовані вимоги до точності та повторюваності вимірювань, а також вплив факторів середовища та умов вимірювання на результати контролю.

Геометричні параметри виробів можуть бути визначені за різними стандартами та нормативами, такими як ДСТУ, ISO, DIN та інші. Важливо дотримуватися цих стандартів при контролі геометричних параметрів, оскільки вони визначають вимоги до точності та якості виробів.[1]

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Для забезпечення високої точності контролю геометричних параметрів виробів необхідно враховувати такі фактори, як температура, вологість, вібрації та інші фактори, які можуть впливати на точність вимірювань.

Забезпечення високої точності геометричних параметрів виробів є особливо важливим у виробничому середовищі, де навіть незначна неточність може призвести до значних проблем. Наприклад, невідповідність розмірів виробу може призвести до того, що він не влізе в інші складові системи, або не зможе виконувати свої функції з високою точністю.

Крім того, точність вимірювань геометричних параметрів виробів може бути критично важливою у різних галузях, таких як авіаційна, медична та оборонна промисловість. У цих галузях, навіть маленька неточність може мати серйозні наслідки та призвести до небезпеки для людей та серйозних матеріальних збитків.

Тому, контроль геометричних параметрів виробів є необхідною складовою виробничого процесу, який забезпечує високу точність та якість продукту. Для досягнення цієї мети, використовуються різноманітні технології та обладнання, які надають можливість проводити точні вимірювання та аналізувати результати для виявлення навіть найменших дефектів та неточностей.

Контроль геометричних параметрів виробів проводиться за допомогою спеціальних приладів, таких як координатно-вимірювальні машини, оптичні сканери, контрольно-вимірювальні засоби, які забезпечують високу точність вимірювання та роблять можливим виявлення навіть дрібних дефектів.

Один з основних методів контролю геометричних параметрів виробів - це контактний метод вимірювання з використанням різноманітних вимірювальних приладів, таких як мікрометри, штангенциркулі, вимірювальні пробки та інші. Ці методи дають досить високу точність вимірювання, але зазвичай вимагають більш високої кваліфікації персоналу, оскільки неправильне використання таких приладів може привести до похибок вимірювань.

Інший метод контролю геометричних параметрів - це неконтактний метод вимірювання з використанням різних оптичних, лазерних та інших приладів. Ці

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						13
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

методи дозволяють зменшити вплив людського фактора на результати вимірювань та знизити ймовірність пошкодження виробу, але мають свої обмеження та недоліки.

В контролі геометричних параметрів виробів можуть застосовуватися різні програмні засоби, такі як комп'ютерна томографія, тривимірне моделювання, спектральний аналіз та інше.

Точність та повторюваність вимірювань є надзвичайно важливими вимогами при контролі геометричних параметрів виробів. Точність вимірювання визначається різницею між значенням вимірювання та реальним значенням параметра. Повторюваність вимірювань відображає ступінь стабільності результатів вимірювань при повторенні вимірювань.

Вимоги до точності та повторюваності вимірювань повинні відповідати стандартам та вимогам, які встановлюються для конкретних геометричних параметрів виробів. Часто вимоги до точності та повторюваності вимірювань залежать від технології виготовлення виробів та їх призначення.

Точність вимірювань визначається різницею між значенням вимірювання та фактичним значенням геометричного параметру виробу, тоді як повторюваність вимірювань вказує на рівень стійкості результатів вимірювань при повторенні процедури.

Вимоги до точності вимірювань також залежать від вимірюваного параметра виробу і можуть бути виражені в міліметрах, мікрометрах або ще менших одиницях вимірювання. Для забезпечення необхідної точності вимірювань важливо використовувати високоякісні вимірювальні прилади та забезпечувати їх правильне налаштування та калібрування.

Повторюваність вимірювань залежить від декількох факторів, таких як стійкість вимірювального приладу, навколишнє середовище, умови вимірювання та кваліфікація оператора. Для забезпечення стійкості результатів вимірювань необхідно використовувати вимірювальні прилади з високим рівнем стабільності, дотримуватися умов вимірювання, таких як температура, вологість та шум, та забезпечувати високий рівень кваліфікації операторів.[2]

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

При контролі геометричних параметрів виробів необхідно враховувати вплив факторів середовища та умов вимірювання на результати контролю. Наприклад, зміна температури та вологості може впливати на розширення або скорочення вимірювального інструмента, що змінює його геометричні параметри та впливає на точність вимірювання.

Також важливим фактором є умови вимірювання, такі як наявність вібрацій, шуму, джерел електромагнітного випромінювання та інших електричних та механічних перешкод. Ці фактори можуть викликати спотворення вимірювання та зниження його точності та повторюваності.

Отже, враховуючи вимоги до точності та повторюваності вимірювань, а також вплив факторів середовища та умов вимірювання на результати контролю, можна забезпечити надійний та точний контроль геометричних параметрів.

1.2 Огляд систем контролю геометричних параметрів виробів

У сучасних умовах, коли вимоги до якості виробів стають все вищими, контроль геометричних параметрів є надзвичайно важливим етапом виробничого процесу. Для цього використовуються різноманітні системи контролю, які дозволяють вимірювати та аналізувати різні параметри виробів.

Система контролю геометричних параметрів - це комплекс технічних засобів та програмного забезпечення, які дозволяють вимірювати та аналізувати різні параметри геометричної форми виробів. Ці системи використовуються в промисловому виробництві, де точність та якість виробів є дуже важливими.

Системи контролю геометричних параметрів виробів відіграють важливу роль у виробництві, де точність та якість виготовлених виробів є ключовими факторами. Основна мета систем контролю геометричних параметрів полягає в тому, щоб забезпечити відповідність вимогам замовника та/або внутрішнім стандартам якості виробника.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система контролю геометричних параметрів може включати в себе різні види технічних засобів, таких як лазерні сканери, оптичні системи, ультразвукові датчики та радіальні системи. Кожен з цих технічних засобів може бути використаний для вимірювання різних параметрів геометричної форми виробів, включаючи розміри, форму, відхилення та інші параметри.

Застосування систем контролю геометричних параметрів дозволяє забезпечити високу якість та точність виробів, що може мати значення для безпеки та ефективності використання цих виробів у різних галузях виробництва та експлуатації.[3]

Вибір конкретної системи контролю геометричних параметрів виробів залежить від багатьох факторів, таких як тип виробів, їхні розміри та форма, вимоги до точності вимірювань, обсяги виробництва та бюджет.

Якщо вимоги до точності вимірювань не настільки високі, то можна використовувати оптичні системи контролю, такі як лазерні сканери або системи видимого діапазону. Ці системи можуть вимірювати розміри та форму виробів з високою точністю, але їхні вимоги до умов освітлення та розміщення можуть бути дещо складнішими.

Оптичні системи вимірювання використовують світлові сигнали для вимірювання розмірів та форми виробів. Ці системи зазвичай використовують різні типи оптичних датчиків та камер для збору інформації про виріб.

Одним з типів оптичних систем вимірювання є проекторні системи. Вони використовуються для вимірювання розмірів та форми плоских деталей. Система складається з проектора, який проектує світловий шаблон на деталь, та камери, яка фіксує образ проекції. За допомогою програмного забезпечення вимірюються розміри та форма деталі.

Контурні вимірювальні машини є ще одним типом оптичних систем вимірювання. Вони використовуються для вимірювання розмірів та форми деталей, які мають складну геометрію. Система складається з камери, яка збирає дані про деталь з різних ракурсів, та програмного забезпечення, яке обробляє ці дані та робить вимірювання.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лазерні сканери є ще одним типом оптичних систем вимірювання. Вони використовують лазер для створення 3D-зображення виробів. Лазерні промені сканують поверхню виробу, а потім програмне забезпечення створює точну 3D-модель виробу, що може бути використана для вимірювання розмірів та форми.

Вимірювальні мікроскопи також використовуються для вимірювання розмірів та форми деталей. Ці системи використовують оптичні лінзи та камери, щоб збільшити зображення виробу, та програмне забезпечення для вимірювання розмірів та форми деталі.

Оптичні системи вимірювання мають декілька переваг. Вони забезпечують високу точність вимірювання та можуть працювати з швидкістю, яка перевищує інші системи вимірювання. Крім того, оптичні системи вимірювання можуть працювати безконтактно, що дозволяє уникнути пошкодження виробу, і вони можуть вимірювати розміри та форму виробів, які не можуть бути виміряні іншими методами. Однак, оптичні системи вимірювання можуть бути дорогими та складними в експлуатації, і їх точність може бути обмежена певними факторами, такими як якість оптичних датчиків та навколишнє середовище.

Ультразвукові системи контролю можуть бути використані для вимірювання товщини матеріалів та виявлення дефектів виробів. Вони є корисними для вимірювання параметрів виробів, що складаються з металу або інших матеріалів, які можуть пропускати ультразвукові хвилі. Використання таких систем може бути дещо складнішим та більш часовим затратним, але вони є надійними та ефективними у виявленні дефектів виробів.

Ці системи являються ефективними засобами виявлення дефектів та деформацій виробів. Вони використовують високочастотні звуки для виявлення певних типів дефектів, таких як тріщини, нерівності, включення та інші. Ультразвукові системи контролю вимагають спеціального обладнання, яке може генерувати та приймати ультразвукові хвилі, а також аналізувати отримані дані.

Однією з основних переваг ультразвукових систем контролю є їх висока чутливість до дефектів, що дозволяє виявляти навіть дуже малі неправильності. Крім того, ультразвукові системи контролю є безпечними для оператора та не впливають

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

на якість виробу, що є важливим у багатьох галузях виробництва. Ультразвукові системи також можуть бути дуже швидкими, що забезпечує швидке виявлення дефектів та зниження часу перевірки виробів.

Однак, ультразвукові системи контролю мають деякі обмеження. Наприклад, вони не можуть виявляти дефекти у всіх типах матеріалів, тому для деяких видів виробів можуть бути неефективними. Крім того, ультразвукові системи контролю можуть бути дорогими та складними в експлуатації, що може ускладнити їх застосування в деяких випадках.

Радіальні системи контролю можуть бути корисними для виявлення тріщин та деформацій у виробках. Вони використовуються для вимірювання діаметрів, висот, товщин стінок труб, отворів та отвірив у деталях машинобудування, електроніці, авіації та інших галузях промисловості.

Вони використовуються для вимірювання радіуса, діаметра та інших геометричних параметрів виробів. Вони базуються на використанні датчиків, які змінюють своє положення в залежності від форми та розміру виробу.

Радіальні системи контролю мають декілька переваг, серед яких висока точність та повторюваність вимірювань. Вони дозволяють вимірювати навіть найменші відхилення від заданої форми та розміру виробу і працюють з великою швидкістю, що забезпечує швидке вимірювання та контроль якості виробів.

Проте, в радіальних системах контролю також є деякі обмеження. Наприклад, вони можуть бути неефективними для вимірювання виробів зі складною формою або виробів зі змінними радіусами. Також, варто зазначити, що радіальні системи контролю можуть бути високою вартістю та потребувати певного рівня кваліфікації для ефективної експлуатації, що може обмежити їх застосування в деяких випадках.

У цілому, радіальні системи контролю є ефективними засобами для вимірювання геометричних параметрів виробів та контролю якості. Вони можуть бути використані в багатьох галузях виробництва, таких як автомобільна, аерокосмічна, машинобудівна та інші.

Вимірювальні машини з використанням комп'ютерної томографії використовуються для точного вимірювання внутрішньої та зовнішньої геометрії

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

виробів. Ці системи складаються з джерела рентгенівського випромінювання, детектора та комп'ютера, що обробляє отримані дані.

При використанні вимірювальних машин з комп'ютерною томографією, виріб поміщається в рентгенівську камеру, де він обертається навколо своєї осі, одночасно проходячи рентгенівський промінь. Детектор зафіксує промені, які проходять через виріб, а комп'ютер збирає інформацію про те, як ці промені проходять через виріб в різних напрямках. З цих даних комп'ютер розраховує відображення внутрішньої та зовнішньої геометрії виробу в формі тривимірної моделі.

Вимірювальні машини з комп'ютерною томографією можуть бути особливо корисними для вимірювання складних виробів, таких як внутрішні елементи двигунів, турбіни або збірних механізмів. Крім того, вони можуть бути використані для вимірювання виробів з різними матеріалами, такими як метали, пластмаси та композити.

У даній роботі ми розглядаємо контактні системи контролю. Контактні системи контролю геометричних параметрів виробів використовуються для вимірювання параметрів деталей, які можна дотикатися до вимірювальних елементів. Ці системи можуть використовувати різні типи датчиків, такі як кільцеві датчики, мікрометри, вимірювальні головки та інші.

Одним з найбільш поширених типів контактних систем контролю є координатно-вимірювальні машини (КВМ). Ці машини складаються з жорсткого каркасу, на якому розташовані вимірювальні датчики та система керування. КВМ використовуються для вимірювання геометричних параметрів деталей з високою точністю, таких як прямолінійність, площа, кут-нахилу, круглість тощо.[12]

Якщо виробляються великі складні вироби, то може бути краще використовувати КВМ з програмним забезпеченням для вимірювання точних координат на багатьох точках виробу. Ці системи є надійними та дозволяють визначити різні параметри виробів, включаючи форму, розмір та відхилення від заданих параметрів.

Ще одним типом контактних систем контролю є прості вимірювальні пристрої, такі як мікрометри, калібри, глибокоміри та інші. Ці пристрої використовуються для

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювання конкретних геометричних параметрів деталей, наприклад, діаметрів отворів, товщини стінок тощо.

Окрім цього, існують контактні оптичні системи контролю, такі як контуроміри, які вимірюють параметри деталей за допомогою оптичного датчика, який зчитує форму поверхні деталі.

Однією з переваг контактних систем контролю є їх висока точність та повторюваність вимірювань. Однак, недоліком є потреба у прямому контакті з деталлю, що може викликати зношування деталей та забруднення вимірювальних елементів.

Основними технічними характеристиками контактної-вимірювальної системи є точність та повторюваність вимірювань, швидкість вимірювань, довжина ходу, максимальне навантаження на прилад, роздільна здатність, та можливість автоматизованого управління та обробки даних.

Точність та повторюваність вимірювань є ключовими показниками контактної-вимірювальної системи, оскільки вони визначають її здатність до точного вимірювання геометричних параметрів виробів. Швидкість вимірювань є також важливою характеристикою, особливо в виробничих умовах, де час - критичний фактор.

Довжина ходу, максимальне навантаження на прилад та роздільна здатність визначають обсяг робіт, які може виконати контактна-вимірювальна система, а також її здатність до вимірювання різних типів виробів та деталей.

Можливість автоматизованого управління та обробки даних дозволяє збільшити продуктивність та точність вимірювань, а також зменшити кількість помилок, пов'язаних з людським фактором.

Контактна-вимірювальна система повинна мати достатнє навантаження для вимірювання різних типів виробів. Також важливо, щоб система мала можливість зв'язку з персональним комп'ютером для передачі даних та аналізу. У більшості випадків, система повинна мати можливість автоматичного вимірювання, що дозволяє економити час та зменшувати людські помилки. Живлення контактної-

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювальної системи може здійснюватися від електромережі або від вбудованого акумулятора, що забезпечує більшу мобільність приладу.

1.3 Опис принципів вимірювання, якими датчиками, на яких принципах роботи

Задача контролю геометричних параметрів виробів є надзвичайно важливою для забезпечення їх якості та відповідності вимогам замовника. Для досягнення цієї мети використовують різні системи та методи контролю. Один з основних принципів вимірювання полягає у використанні датчиків, які забезпечують вимірювання параметрів виробу і перетворення отриманих даних у сигнали для подальшої обробки.

Контактні системи контролю геометричних параметрів виробів використовують датчики, які взаємодіють з поверхнею виробу, щоб здійснити вимірювання. Основними принципами вимірювання в цих системах є вимірювання відстані та кутів.

Для вимірювання відстані використовуються такі датчики:

- Мікрометри, що забезпечують вимірювання точних відстаней між двома точками на поверхні виробу за допомогою вимірювальних наконечників.
- Компаратори, які вимірюють відстань між двома точками, використовуючи важільну систему та мікрометричний гвинт.
- Мікроскопи, які дозволяють вимірювати довжини, діаметри та радіуси за допомогою оптичних зображень на поверхні виробу.

Для вимірювання кутів використовуються такі датчики:

- Гоніометри, які вимірюють кути між двома лініями або площинами на поверхні виробу за допомогою важільної системи та мікрометричного гвинта.
- Протектори, які дозволяють вимірювати кути між поверхнями виробу за допомогою вимірювальних шаблонів та показників.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основою для вимірювань у контактних системах є принципи дотичної взаємодії датчика та вимірювальної поверхні виробу. Типовими датчиками є контактні головки, які виконують вимірювання за допомогою натискання на поверхню виробу. Для більш точних вимірювань можуть використовуватись вимірювальні головки зі спеціальними формами та матеріалами.

Сучасні системи контролю геометричних параметрів виробів зазвичай використовують не тільки контактні, але і безконтактні методи вимірювання. Безконтактні системи вимірюють геометричні параметри виробів без прямого контакту з ними, що зменшує ризик пошкодження виробу під час контролю.

До безконтактних методів вимірювання належать: лазерний сканування, оптичне відбиття, фотограмметрія, комп'ютерна томографія та інші. Контактні методи вимірювання можуть використовувати різноманітні датчики, наприклад, датчики переміщення, тиску, сили, а також механічні та пневматичні датчики.

Серед сучасних систем контролю геометричних параметрів можна виділити три основні типи: 3D координатні вимірювальні машини, оптичні вимірювальні системи та сканери. 3D координатні вимірювальні машини використовують контактні методи вимірювання та забезпечують високу точність і повторюваність вимірювань. Оптичні вимірювальні системи використовують безконтактні методи вимірювання та забезпечують високу швидкість вимірювань. Сканери використовуються для вимірювання складних поверхонь та деталей, які важко виміряти за допомогою інших методів.

Окрім того, сучасні системи контролю геометричних параметрів можуть мати можливість автоматичного вимірювання, зв'язку з ПК та збереження даних в електронному вигляді. Вони також можуть бути забезпечені системою автоматичного виправлення помилок вимірювання та аналізу даних.

Координатний метод вимірювання є одним з найбільш поширених методів вимірювання геометричних параметрів виробів. Цей метод базується на вимірюванні координат точок на поверхні виробу, за допомогою яких можна визначити розміри, форму та положення виробу.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для здійснення вимірювання за координатним методом використовуються координатно-вимірювальні машини (КВМ), які складаються з верстата з ЧПУ та спеціальних датчиків (контактних або безконтактних), які вимірюють координати точок на поверхні виробу. Датчики можуть бути виконані за різними принципами роботи, наприклад, оптичні, лазерні, механічні, з різними способами зв'язку з верстатом (провідні, бездротові тощо).

Результати вимірювання за координатним методом можуть бути оброблені за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке дозволяє проводити розрахунки, порівнювати зі стандартними значеннями та визначати відхилення від них. Отримані результати можуть бути використані для контролю та управління якістю виробів, а також для налагодження технологічного процесу виробництва.

До переваг контактних систем контролю можна віднести їх високу точність та можливість вимірювання широкого діапазону геометричних параметрів виробів. Однак, ці системи мають деякі обмеження, пов'язані з необхідністю контакту датчика з виробом, що може призводити до його пошкодження або зносу, а також до впливу сили вимірювання на сам вимірюваний параметр. Крім того, вимірювання за допомогою контактних систем часто потребують попередньої підготовки поверхні виробу та вимагають більш складної калібрування порівняно з безконтактними системами контролю.

Датчики вимірювання є ключовою складовою будь-якої системи контролю геометричних параметрів виробів. Основна функція датчиків полягає у перетворенні фізичних параметрів вимірюваної величини (таких як деформація, тиск, температура тощо) на електричний сигнал, який може бути оброблений контрольною системою.

Серед типів датчиків вимірювання, які використовуються в системах контролю геометричних параметрів, можна виділити:

- Датчики деформації, які вимірюють механічні деформації виробу при його навантаженні.
- Датчики положення, які вимірюють відстань між двома точками на виробі.
- Датчики тиску, які вимірюють тиск рідини або газу в системі.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Датчики температури, які вимірюють температуру в окремих точках виробу.

Залежно від потреби і застосування, можуть використовуватись різні типи датчиків вимірювання. Важливо пам'ятати, що вибір датчиків має вирішувати задачі контролю геометричних параметрів виробів з максимальною точністю та надійністю.

Датчики деформації вимірюють механічні деформації виробу при його навантаженні. Зазвичай, ці датчики мають форму тонкої пластинки або проволочки, які встановлюються на виробі, і при навантаженні вони деформуються. Датчики деформації використовуються для вимірювання напруги, деформації, модуля Юнга та інших механічних параметрів виробу. Вони застосовуються в авіаційній та автомобільній промисловості, машинобудуванні та інших галузях промисловості, де важливо контролювати механічні властивості виробів.

Датчики положення вимірюють відстань між двома точками на виробі. Ці датчики можуть бути засновані на різних принципах, таких як оптичний, магнітний, потенціометричний, ємнісний тощо. Наприклад, оптичні датчики положення використовують фотодетектори для вимірювання різниці відстані між двома об'єктами. Магнітні датчики положення використовують магніти та магнітні датчики для вимірювання відстані. Потенціометричні датчики положення використовуються для вимірювання зміни опору в залежності від положення рухомого елемента. Ємнісні датчики положення використовуються для вимірювання ємності між двома електродами, яка змінюється залежно від відстані між ними. Кожен тип датчика положення має свої переваги та обмеження, тому вибір конкретного типу залежить від вимог до точності та швидкості вимірювання, а також від середовища та умов вимірювання.

Датчики тиску вимірюють тиск рідини або газу в системі і можуть бути використані для контролю геометричних параметрів виробу. Ці датчики зазвичай містять п'езорезистивний елемент, який генерує електричний сигнал при зміні тиску. Такі датчики можуть використовуватись для вимірювання тиску газу в системі вентиляції або вимірювання тиску рідини в системі охолодження двигуна. Залежно від застосування і потреб, датчики тиску можуть бути виготовлені з різних матеріалів та мати різні робочі діапазони тиску.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчики температури вимірюють температуру в окремих точках виробу за допомогою термометрів або термопар. Термометри вимірюють температуру на основі зміни довжини термометричного матеріалу при зміні температури, а термопари вимірюють температуру на основі генерації електричної напруги при зміні температури на місці контакту двох різних металів. Датчики температури широко використовуються в автомобілебудуванні, електроніці, металургії та інших галузях промисловості, де вимагається точне вимірювання температури для забезпечення правильної роботи технологічних процесів і пристроїв.

Датчики можуть працювати на різних принципах, залежно від того, яку фізичну величину вони вимірюють. Наприклад, датчики тиску можуть працювати на принципі напівпровідникової технології, мембрани або ртутного наповнення. Датчики деформації можуть використовувати тензорезистивний ефект або працювати на основі фібр оптичного волокна. Датчики положення можуть вимірювати відстань за допомогою магнітних, оптичних або ультразвукових сигналів. Датчики температури можуть працювати на основі термістрів, термопар або оптичних властивостей матеріалів.

1.4 Координатно-вимірювальні машини

У сучасному промисловому виробництві точність та якість виготовлених деталей є вирішальними факторами. Для забезпечення високої точності вимірювання розмірів та геометричних параметрів використовуються спеціалізовані пристрої, такі як координатні вимірювальні машини з гнучкою системою автоматизації.

КВМ забезпечує дуже високу точність вимірювань, що особливо важливо для прецизійного виготовлення та контролю якості. Вона дозволяє виміряти розміри об'єктів з високою роздільною здатністю і забезпечує повторюваність результатів вимірювань. Також КВМ може виконувати велику кількість вимірювань за короткий час, що робить її ефективним інструментом для вимірювання та контролю якості в промислових умовах.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Вона може бути програмована для автоматичного виконання вимірювань без необхідності в присутності оператора. За допомогою неї можна виміряти складні форми та геометрію об'єктів, які можуть бути важко або неможливо виміряти іншими методами. КВМ може використовувати різні типи датчиків, такі як оптичні, контактні або лазерні датчики, що дозволяє виміряти різні типи поверхонь і форм.

КВМ дозволяє виміряти складні форми та геометрію об'єктів, які можуть бути важко або неможливо виміряти іншими методами. Вона може використовувати різні типи датчиків, такі як оптичні, контактні або лазерні датчики, що дозволяє виміряти різні типи поверхонь і форм. Також часто супроводжується програмним забезпеченням, яке дозволяє візуалізувати отримані дані, порівнювати їх зі стандартами, проводити статистичний аналіз і генерувати звіти. Це дозволяє операторам і інженерам швидко аналізувати результати вимірювань і приймати рішення на основі цих даних.

Координатно-вимірювальна машина має широкий спектр застосувань у різних галузях індустрії. Вона використовується в автомобільному виробництві, авіаційній промисловості, медицині, електроніці, машинобудуванні, аерокосмічній промисловості та інших галузях. КВМ дозволяє виміряти, контролювати і підтримувати високу якість продукції у різних секторах економіки. Ця машина здатна вимірювати нестандартні, складні або несиметричні деталі, які важко виміряти іншими методами. Вона може працювати з об'єктами різної форми, включаючи криволінійні, заглиблені, вирізані або складні контури, також КВМ можуть не лише вимірювати типові поверхні, але і визначати систему координат положення спеціальних поверхонь відносно базових [10].

КВМ може працювати взаємодіючи з САД-моделями (моделями комп'ютерного проектування), що дозволяє виконувати порівняння між фактичними виміряними даними та заданими геометричними параметрами. Це допомагає виявляти відхилення від заданих специфікацій та спрощує процес проектування дозволяючи інженерам виявляти та виправляти проблеми з дизайном ще до виготовлення прототипів або масового виробництва, що зменшує час і витрати на виробництво.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні принципи роботи координатної вимірювальної машини базуються на використанні точкових вимірювань у тривимірному просторі тобто координатний метод вимірювання. Основною метою координатної вимірювальної машини є визначення точного положення та геометричних параметрів об'єкта, який піддається вимірюванню. У основу роботи КВМ покладений розрахунок параметрів поверхонь за результатами виміру положення окремих точок на цих поверхнях. Для відліку положення окремих точок використовується координатна система, відносно якої положення вимірюваного об'єкту фіксоване [8].

Робоче поле координатної вимірювальної машини визначає максимальні розміри об'єкта, який може бути виміряний. Розміри робочого поля можуть варіюватися в залежності від типу та моделі машини. Наприклад, деякі машини можуть мати робочі поля розмірами від кількох сантиметрів до кількох метрів у кожному напрямку.

Фіксація об'єкта вимірювання є необхідною для забезпечення стійкого положення під час вимірювань. Це може включати використання спеціальних фіксаторів, притискачів або механічних пристроїв, що дозволяють надійно закріпити об'єкт. Фіксація допомагає уникнути вібрацій, рухів або деформацій об'єкта під час вимірювання, що може негативно вплинути на точність та повторюваність результатів.

Важливо також враховувати, що фіксація об'єкта не повинна призводити до деформації або спотворення його геометрії. Особливу увагу слід приділити твердості фіксаторів та їх впливу на міцність та форму об'єкта. Оптимальна фіксація забезпечує стабільність об'єкта під час вимірювання, зберігаючи його вихідні геометричні характеристики.

Добре планування та використання методів фіксації об'єкта допомагають забезпечити точність та надійність вимірювань на координатній вимірювальній машині.

Датчики вимірювання є ключовим компонентом координатної вимірювальної машини. Вони використовуються для отримання точкових даних про геометричні

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

параметри об'єктів, які підлягають вимірюванню. Нижче наведено деякі типи датчиків, що застосовуються в координатних вимірювальних машинах:

1. Контактні датчики: Ці датчики фізично контактують з поверхнею об'єкта для вимірювання його параметрів. Голівки з різними формами або дотичні датчики використовуються для вимірювання розмірів, форми, глибини пазів, отворів і поверхонь. Коли голівка торкається поверхні об'єкта, він реагує на зміни висоти або контуру і передає відповідний сигнал до системи вимірювання.
2. Оптичні датчики: Оптичні датчики використовують світло для вимірювання геометричних параметрів об'єктів. Лазерні сканери або проекційні системи вимірюють відстань до об'єктів, а також форму і контури. Вони працюють на основі принципу відбиття або проникнення світла та аналізують його зміну для визначення відстаней і розмірів.
3. Безконтактні датчики: Ці датчики не потребують прямого контакту з об'єктом і зазвичай вимірюють відстань, збираючи інформацію про відбите або випромінене електромагнітне випромінювання. Наприклад, акустичні датчики можуть вимірювати відстань на основі відображеного звуку, а також інфрачервоні датчики можуть вимірювати відстань за допомогою відбитих інфрачервоних променів.
4. Ємнісні датчики: Ці датчики використовуються для вимірювання розмірів і форми об'єктів на основі зміни ємності при контакті з поверхнею. Вони можуть мати тонкі електрично провідні шари або ґратки, які реагують на зміни відстані або контуру об'єкта. Зміна ємності реєструється та аналізується для визначення геометричних параметрів.

Ці різні типи датчиків вимірювання забезпечують різноманітні можливості вимірювання на координатних вимірювальних машинах. Вибір конкретного типу датчика залежить від потреб вимірювання, властивостей об'єктів, а також вимог щодо точності, швидкості та доступності даних. Наприклад, контактні датчики зазвичай використовуються для точних вимірювань з високою роздільною здатністю, тоді як

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

безконтактні датчики можуть бути вигідними для вимірювання великих об'єктів або у випадках, коли контакт з об'єктом небажаний або неможливий.

Важливо також враховувати діапазон вимірювання, чутливість, стабільність та повторюваність датчиків. Деякі датчики можуть бути спеціалізованими для конкретних типів вимірювань, наприклад, датчики для вимірювання глибини пазів або датчики для вимірювання шерохватості поверхні. Вимірювальні датчики можуть бути інтегровані безпосередньо в головку вимірювальної машини або використовуватись у вигляді змінних датчикових модулів, що дозволяє розширювати функціональність та гнучкість системи вимірювання.

Правильний вибір датчика вимірювання є важливим кроком при проектуванні та використанні координатної вимірювальної машини, оскільки він безпосередньо впливає на точність та надійність вимірювань. Оптимальне поєднання типів датчиків та їх розташування на машині дозволяє досягти бажаних результатів вимірювань з необхідною точністю та ефективністю.

Система координат є важливою складовою координатної вимірювальної машини. Вона визначає просторову референцію, яка дозволяє точно визначати положення та розміри об'єктів.

Основні аспекти системи координат включають в себе: тип системи координат, початок координат, орієнтація системи координат, єдність системи координат.

Найпоширеніші типи систем координат в координатних вимірювальних машинах - це декартова (прямокутна) система координат і полярна система координат. У декартовій системі координат використовуються прямокутні осі (X, Y, Z), що дозволяють вимірювати переміщення вздовж трьох взаємно перпендикулярних напрямків. У полярній системі координат використовується радіальна координата (ρ) і кутова координата (θ), що дозволяє вимірювати відстань і кут від вибраної точки.

Початком координат називають точку з якої відлічуються координати. Зазвичай це точка, де зустрічаються осі X, Y і Z в декартовій системі координат. Початок координат може бути фіксованим або може бути переміщуваним в межах робочого простору в залежності від потреб вимірювання.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Система координат може мати різні орієнтації відносно об'єктів, що вимірюються. Зазвичай використовуються дві основні орієнтації: абсолютна орієнтація, де система координат пов'язана з фіксованими глобальними основними напрямками, і відносна орієнтація, де система координат пов'язана з конкретним об'єктом або загальним простором вимірювання.

Важливо, щоб у всіх компонентах координатної вимірювальної системи, включаючи саму машину, програмне забезпечення та датчики, використовувалась одна і та ж система координат. Це забезпечує цілісність та точність вимірювань, оскільки всі вимірювальні дані будуть посилатися на одну спільну референцію. Зазвичай, система координат пов'язана з фіксованими точками на машині або відповідно до стандартів вимірювання, що дозволяє легко співставляти результати вимірювань між різними вимірювальними пристроями або в різних часових точках.

Забезпечення правильної ідентифікації та використання системи координат є важливим кроком при підготовці та налаштуванні координатної вимірювальної машини. Це дозволяє забезпечити точність, повторюваність та надійність вимірювань, а також спрощує обробку та аналіз вимірювальних даних.

Система приводів і переміщення є важливою складовою координатної вимірювальної машини. Вона забезпечує точне та плавне переміщення датчиків і об'єктів в межах робочого простору машини. Основні аспекти системи приводів і переміщення включають:

Електромеханічні приводи це приводи, які використовують електричну енергію для перетворення її на механічну рухому силу. Вони можуть включати крокові двигуни, лінійні приводи та інші. Електромеханічні приводи забезпечують високу точність, контроль положення і швидкості переміщення, а також можуть бути програмовані для виконання складних рухів і вимірювань.

Приводи, які використовують стиснений повітря для створення руху називаються пневматичними приводами. Вони зазвичай застосовуються для швидкого переміщення легких деталей або компонентів. Пневматичні приводи можуть мати високу швидкість реагування і мають просту конструкцію, але меншу точність порівняно з електромеханічними приводами.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За допомогою рідин під високим тиском для створення руху працюють гідравлічні приводи. Гідравлічні приводи використовуються для вимірювальних машин, які потребують великої сили для переміщення важких об'єктів або здійснення прецизійних приводів. Вони мають високу точність і можуть працювати в широкому діапазоні навантажень.

Лінійним переміщувачем називають механізм, що забезпечують лінійне переміщення датчиків і об'єктів вздовж осей системи координат. Лінійні переміщувачі можуть бути реалізовані за допомогою різних механізмів, таких як кулькові гвинти, приводні ремені, лінійні направляючі та гідроприводи. Вони забезпечують плавне та прецизійне переміщення об'єктів вздовж осей, що дозволяє виконувати точні вимірювання та сканування.

Крім того, система приводів і переміщення включає елементи керування, такі як моторні контролери, енкодери, сенсори положення та програмне забезпечення керування. Ці елементи взаємодіють між собою, щоб забезпечити точність переміщення, контроль швидкості і працездатність системи. Програмне забезпечення керування дозволяє налаштовувати параметри руху, встановлювати точки зупинки, програмувати сканування та виконувати інші операції, необхідні для вимірювань та аналізу даних.

Забезпечення правильної роботи системи приводів і переміщення є критичним для точності та ефективності вимірювань на координатній вимірювальній машині. Вона дозволяє здійснювати повторювані та надійні переміщення, забезпечує контроль положення та швидкості руху, а також дозволяє реалізувати складні вимірювальні операції з високою точністю.

Програмне забезпечення в координатній вимірювальній машині відіграє важливу роль у керуванні та управлінні процесом вимірювання. Воно забезпечує інтерфейс для взаємодії з користувачем, налаштування параметрів вимірювання, обробку та аналіз вимірювальних даних. Основні аспекти програмного забезпечення включають:

Управління рухом системи приводів та переміщення датчиків здійснюється через використання спеціалізованого програмного забезпечення. Це програмне

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення відповідає за контроль швидкості, прискорення, зупинки, позиціонування та повторюваність рухів. Для досягнення точного переміщення, воно може використовувати різні алгоритми керування, такі як PID (пропорційний, інтегральний, диференціальний) або інші алгоритми, що забезпечують оптимальний контроль руху об'єктів по визначених шляхах.

Набір вимірювальних функцій, що надає програмне забезпечення, дозволяє виконувати різноманітні вимірювання та аналізувати отримані дані. Цей набір може включати функції для вимірювання довжини, діаметру, кута, форми, профілю та інших параметрів об'єктів. Поміж можливостей програмного забезпечення є візуалізація даних, графічне відображення результатів, статистичний аналіз та генерація звітів, що допомагають у зрозумінні та документуванні вимірювальних результатів.

Програмне забезпечення дозволяє проводити калібрування системи вимірювання, щоб врахувати систематичні похибки та забезпечити більш точні результати. Конфігурація та управління вимірювальними програмами є однією з основних можливостей координатної вимірювальної машини. Користувач має можливість створювати, редагувати та зберігати програми вимірювань, які визначають послідовність операцій вимірювання для об'єктів різних форм та розмірів. Інтерфейс програмного забезпечення надає можливість вводу геометричних параметрів, встановлення точок вимірювання та обробки даних, спрощуючи процес створення і налаштування вимірювальних програм.

Можливість взаємодії з іншими системами та обладнанням є однією з особливостей програмного забезпечення координатної вимірювальної машини. Наприклад, воно може бути інтегровано з CAD-програмами для імпорту моделей об'єктів та системами керування виробництвом для передачі вимірювальних даних з зворотним зв'язком. Це сприяє автоматизованому обміну даними і спрощує процеси проектування, виробництва та контролю якості.

Програмне забезпечення в координатній вимірювальній машині є ключовим елементом, що дозволяє виконувати точні та повторювані вимірювання. Воно спрощує процес планування та виконання вимірювань, покращує ефективність та

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

надійність вимірювального процесу, а також забезпечує можливість аналізу та документування отриманих даних для подальшого використання.

Обробка та аналіз даних є важливою складовою роботи координатної вимірювальної машини. Після проведення вимірювань координатна вимірювальна машина збирає велику кількість даних. Програмне забезпечення використовується для обробки цих даних, включаючи фільтрацію, калібрування та компенсацію помилок. Це допомагає отримати точні результати вимірювань і виключити систематичні помилки.

Після обробки даних програмне забезпечення надає можливості аналізувати результати вимірювань. Це може включати статистичний аналіз, порівняння зі специфікаціями, виявлення відхилень та невідповідностей. Аналіз даних дозволяє зрозуміти якість та відповідність вимірювань встановленим стандартам.

Програмне забезпечення також надає можливості візуалізації даних у зручному для сприйняття вигляді. Це може включати графіки, діаграми, 3D-моделі та інші візуальні елементи, які допомагають зрозуміти та інтерпретувати результати вимірювань.

Обробка та аналіз даних є необхідними етапами для отримання корисної інформації з проведених вимірювань та забезпечення якості контрольованих об'єктів.

Точність вимірювальної системи визначає її здатність до вимірювання з високою ступінню точності. Вона вимірюється за допомогою різних метрологічних характеристик, таких як розкид вимірювань, похибка вимірювання, повторюваність і розрізненість. Важливо забезпечити, щоб система мала достатню точність для заданих вимог вимірювання.

Перевірка системи є процесом, під час якого перевіряється та підтверджується відповідність вимірювальної системи стандартам та вимогам. Це може включати перевірку точності, перевірку робочого діапазону, калібрування та перевірку правильності роботи датчиків та приводів. Перевірка системи забезпечує надійність та відповідність вимірювань стандартам якості.

Внутрішня перевірка може бути виконана самою системою за допомогою вбудованих функцій та алгоритмів. Вона може включати самотестування, перевірку

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

повторюваності та інші внутрішні перевірки. Зовнішня перевірка може бути виконана стандартними метрологічними інструментами або за допомогою зовнішньої сертифікованої лабораторії. Це дозволяє підтвердити точність та надійність системи через незалежну перевірку.

Забезпечення високої точності та перевірка системи допомагають гарантувати надійність та достовірність вимірювань, що здійснюються на координатній вимірювальній машині. Висока точність є основою для досягнення високої якості вимірювань і забезпечення відповідності продукції встановленим стандартам якості. Перевірка системи регулярно проводиться для переконання у збереженні її точності та надійності протягом часу. Це включає періодичну калібрування системи, порівняння з еталонами, проведення контрольних вимірювань та аналізу результатів. Правильна перевірка системи дозволяє виявити можливі відхилення та проблеми, які можуть впливати на точність вимірювань, та прийняти відповідні корективні заходи для забезпечення надійності та якості вимірювань.

1.5 Поширені типи КВМ

Виміри на КВМ здійснюються при відносних переміщеннях деталі і датчика контакту. У різних конструкціях машин ці відносні переміщення здійснюються по-різному - переміщенням датчика торкання по усіх координатних осях або переміщенням вимірюваної деталі по деяких координатах. Частіше деталь при вимірі нерухома, а датчик торкання переміщається. Таке компонування використовують при вимірі великогабаритних деталей з великою масою. При вимірі невеликих деталей стіл з деталлю часто переміщається по одній координаті і рідкісний по двох. Напрям осей X, Y, Z дуже умовно, часі всього вісь з найбільшим діапазоном виміру цієї машини називають віссю X, а вісь, перпендикулярну основі, - віссю Z [5].

Ці конструктивні особливості дозволяють КВМ виконувати точні вимірювання розмірів, форми та положення деталей у тривимірному просторі, що дозволяє

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

вирішувати широкий спектр завдань з контролю якості та вимірювання в промисловому виробництві.

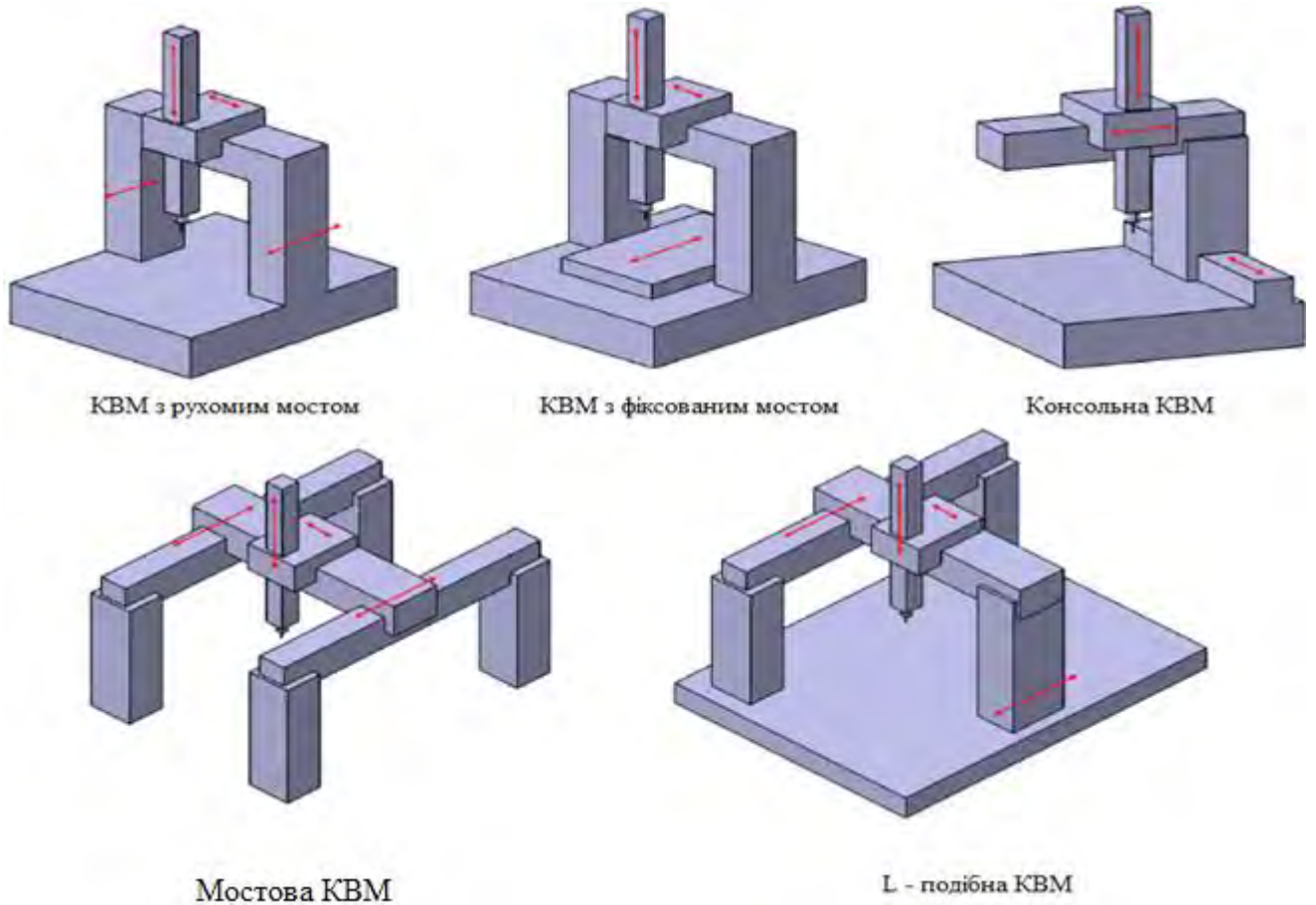


Рисунок 1.1 – Поширені типи КВМ

Координатно-вимірювальна машина порталного типу (рис. 1.2) - це спеціалізована машина, яка використовує порталну конструкцію для вимірювання геометричних параметрів об'єктів. Вона має великі розміри та високу точність вимірювання, що дозволяє виміряти великі або важкі деталі.

КВМ порталного типу складається з порталу, який складається з вертикальних стійок та горизонтальних балок. Ця конструкція забезпечує стабільність та точність руху платформи, на якій розміщений датчик для вимірювання. Рухома платформа може переміщатися у трьох напрямках (X, Y та Z) для вимірювання в трьох вимірах.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ

Арк.

35

КВМ портального типу використовує різні типи датчиків, таких як контактні пальці, лазерні датчики, оптичні сканери або вимірювальні системи на основі камер. Це дозволяє отримати точні вимірювання геометричних параметрів об'єктів.



Рисунок 1.2 – Портальна КВМ

Цей тип КВМ відрізняється високою точністю і повторюваністю вимірювань. Велика точність досягається завдяки стабільності конструкції та використанню високоточних приводів і датчиків. Висока точність дозволяє вимірювати навіть дрібні деталі з великою точністю, що є важливим у виробництві та контролі якості.

Багато КВМ портального типу оснащені автоматизованими системами та програмним забезпеченням. Це дозволяє виконувати вимірювання автоматично з мінімальними втручаннями оператора. Програмне забезпечення надає можливість програмування вимірювань, обробки даних та аналізу результатів. Деякі КВМ портального типу також можуть мати можливості сканування об'єктів. Замість вимірювання окремих точок, датчик може сканувати поверхню об'єкта, отримуючи повну тривимірну модель. Це особливо корисно для вимірювання складних форм або контурів.

КВМ портального типу застосовуються в різних галузях, де вимагається висока точність вимірювання. Вони знайшли застосування в виробництві автомобілів, аерокосмічній промисловості, металообробці, медичних пристроях, електроніці та інших сферах, де важливо забезпечити високу якість і точність виробів.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КВМ порталного типу є потужним інструментом для вимірювання геометричних параметрів об'єктів. Їх висока точність, автоматизованість та можливості сканування роблять їх незамінними в сучасному промисловому середовищі, де важливо забезпечити якість, точність та ефективність виробництва.

Консольна координатно-вимірювальна машина (рис. 1.3) є одним з типів КВМ. Вона має жорстку конструкцію, включаючи опору-консоль, на якій розташований датчик і робочий стіл. Датчик переміщується по всіх трьох координатних осях (X, Y, Z), тоді як робочий стіл залишається статичним. Консольні КВМ використовують різні типи датчиків, такі як контактні, оптичні, лазерні сканери та інші. Вони зазвичай мають комп'ютерне управління, що дозволяє автоматизувати процес вимірювання, забезпечуючи високу точність та швидкість.

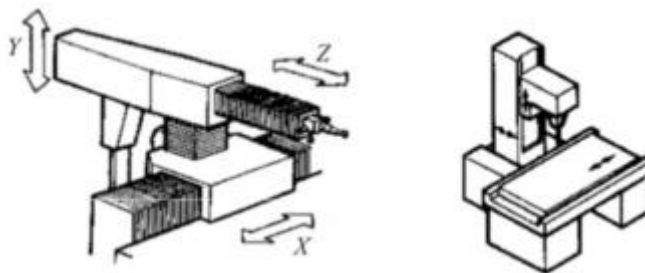


Рисунок 1.3 – Консольна КВМ

Консольні КВМ можуть бути налаштовані для вимірювання різних параметрів, таких як розміри, форма, прямолінійність, паралельність, перпендикулярність та інші. Це дозволяє їх використовувати для різних завдань контролю якості та вимірювань. Багато консольних КВМ мають значний робочий простір, що дозволяє вимірювати об'єкти різних розмірів і форм. Це особливо важливо для промислових застосувань, де необхідно вимірювати великогабаритні або складні деталі.

Мостова координатно-вимірювальна машина (рис. 1.2) є ще одним типом, яка своєю конструкцією схожа на міст, з горизонтальними балками, на яких рухаються датчик та робоча платформа.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



Рисунок 1.4 – Мостова КВМ

Основні особливості мостових КВМ включають горизонтальний рух датчика та робочого стола по горизонтальних балках, що дозволяє вимірювати об'єкти з великим розміром або потребує вимірювання на великій площині. Вони також забезпечують високу точність вимірювань завдяки стійкій та жорсткій конструкції моста, а також можуть мати багато-осьовий рух, що дозволяє вимірювати різні параметри об'єктів. Мостові КВМ мають великий робочий простір але одним із недоліків КВМ мостового типу є ускладнений доступ до вимірюваної деталі.

1.6 Голівки координатно вимірювальної машини

Голівка координатно-вимірювальної машини (рис. 1.4) є ключовою частиною цього пристрою і відповідає за вимірювання геометричних параметрів деталей або виробів. Голівка КВМ складається з датчиків, пристроїв переміщення і контролерів, які працюють разом для забезпечення точності і повторюваності вимірювань.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Голівки КВМ

Основна функція голівки КВМ - вимірювання розмірів, форми та положення деталей. Для цього голівка обладнана різноманітними типами датчиків, такими як оптичні сенсори, контактні датчики або лазерні системи вимірювання. Ці датчики здатні зафіксувати різні параметри, такі як довжина, діаметр, кут, висота тощо.

Голівка КВМ може переміщуватися у трьох або більше координатних напрямках, залежно від типу машини. Для цього вона використовує пристрої переміщення, такі як лінійні приводи, кулькові гвинти, рейки із зубцями або інші механізми. Ці пристрої забезпечують плавне і точне переміщення голівки в потрібній області простору.

Контролер голівки КВМ відповідає за керування рухами голівки і зчитування вимірюваних даних з датчиків. Він обробляє отримані від датчиків сигнали і відповідно аналізує розміри та форму деталей. Контролер також може мати можливість встановлювати параметри вимірювання, обробляти дані та генерувати звіти.

Загалом, голівка координатно-вимірювальної машини виконує такі завдання:

1. Зчитування геометричних параметрів деталей або виробів за допомогою датчиків.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Переміщення голівки КВМ в потрібних координатних напрямках для вимірювання різних точок на деталі.
3. Керування рухами голівки та збереження даних про вимірювання.
4. Аналіз отриманих даних та визначення відповідності розмірів і форми деталі заданим специфікаціям.
5. Генерування звітів і візуалізація результатів вимірювання.

Голівка координатно-вимірювальної машини виконує вимірювання геометричних параметрів деталей. Вона має різні типи датчиків, такі як оптичні сенсори, контактні датчики або лазерні системи вимірювання. Голівка переміщується у трьох або більше координатних напрямках за допомогою лінійних приводів, кулькових гвинтів або рейок з зубцями. Контролер голівки керує рухами і зчитує дані з датчиків, обробляючи їх і аналізуючи розміри та форму деталей. Додаткові функції можуть включати автоматичне змінювання інструментів, компенсацію помилок, програмовані режими вимірювання та інтеграцію з програмним забезпеченням.

Голівки координатно-вимірювальних машин можуть бути різних типів, залежно від конкретних потреб вимірювання. Популярними є наступні голівки: тактильні голівки, оптичні голівки, лазерні голівки, скануючі голівки.

Тактильні голівки включають контактні датчики, які дозволяють отримати точні виміри розмірів, форми та положення деталей. Ці голівки можуть мати різні типи датчиків, залежно від конкретних вимог вимірювання. Наприклад, зонди зі сферичними кінцями використовуються для точкових вимірювань, де кінчик зонда контактує з поверхнею деталі і фіксує виміряні параметри. Контактні модулі можуть мати різні форми і розміри, і вони встановлюються на голівку залежно від типу вимірювання.

Оптичні голівки є іншим типом голівок координатно-вимірювальних машин, які використовуються для неконтактного вимірювання деталей за допомогою оптичних сенсорів. Вони використовують різні технології для збору даних про форму, контури та поверхневу структуру деталей. Також дозволяють отримати точні виміри форми, контурів та поверхневих характеристик деталей без потреби у контакті з ними.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптичні голівки можуть використовувати проекційну стереоскопію, де проекційна система створює два зображення деталі з різних кутів, і збір даних здійснюється на основі розбіжності між цими зображеннями. Це дозволяє виміряти форму та геометрію деталі.

Також використовуються оптичні голівки з лазерним скануванням, де лазерний промінь сканує поверхню деталі, а сенсор реєструє відбите від неї світло. За допомогою фотодетекторів можна визначити висоту, профіль та текстуру поверхні деталі.

Дифузне відображення є ще одним методом, використовуваним в оптичних голівках. Він використовується для вимірювання рельєфу поверхні деталі. При цьому світло розсіюється від поверхні деталі, і за допомогою оптичних сенсорів вимірюються параметри цього розсіяного світла.

Лазерні голівки використовуються для вимірювання відстаней, висот та інших параметрів за допомогою лазерних променів. У лазерних голівках використовуються різні методи вимірювання, такі як триангуляція або фазовий зчитувач. За допомогою лазерного променя і фотодетекторів вимірюються час проходження променя та його відхилення, що дозволяє визначити відстань до деталі або її висоту.

Триангуляційний метод вимірювання використовується, коли лазерний промінь направляється на поверхню деталі, а відбите від неї світло попадає на фотодетектор. За допомогою розрахунків на основі геометричних відношень вимірюється відстань до деталі.

Фазовий зчитувач вимірює зміну фази лазерного променя, яка виникає при його взаємодії з поверхнею деталі. За допомогою цієї зміни фази вимірюються мікрометричні зсуви, що дозволяє визначати висоту або профіль поверхні.

Ще одним схожим до лазерної голівки типом є скануючі голівки. Вони використовуються для сканування поверхні деталей та отримання точкових хмар даних, забезпечують докладне вимірювання геометрії, форми та поверхневої структури деталей.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також є скануючі голівки, які використовуються для сканування з використанням звуку або електромагнітних хвиль. Ці голівки створюють образ поверхні деталі за допомогою відбитих звукових або електромагнітних сигналів.

Скануючі голівки дозволяють отримувати повний образ поверхні деталі, збираючи велику кількість точкових даних. Ці дані можуть бути використані для аналізу геометрії, виявлення дефектів, вирішення проблем технологічного контролю та інших завдань.

1.7 Датчики вимірювальних голівок КВМ

Головна задача датчиків полягає у вимірюванні фізичних величин або параметрів об'єктів, що дозволяє отримувати об'єктивну інформацію про стан, рух або властивості цих об'єктів. Датчики використовуються для перетворення фізичних величин на електричні сигнали, які можуть бути оброблені й подані для подальшого аналізу, контролю або використані в системах автоматизації.

Основна мета датчиків - забезпечити збір точних і надійних даних про середовище, об'єкти або процеси. Завдяки цим даним можна контролювати параметри, виконувати вимірювання, здійснювати моніторинг, виявляти зміни, виявляти несправності та вирішувати інші завдання у різних галузях інженерії, промисловості та багатьох інших сферах.

Застосування датчиків є широким і різноманітним. Вони можуть використовуватися для вимірювання тиску, розтягувальних напруг, вібрацій, руху, зсуву, положення, кутової швидкості, магнітного поля та багатьох інших параметрів.

Отже, головна задача датчиків полягає в забезпеченні точного і надійного вимірювання фізичних величин або параметрів для отримання об'єктивної інформації та контролю над об'єктами або процесами.

Електроконтактний тригерний датчик дотику є одним з типів датчиків, який використовується для вимірювання дотику або контакту з об'єктом. Основним принципом роботи цього датчика є виявлення електричного замикання або переривання контакту, що виникає при дотику об'єкта до датчика.[19]

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електроконтактні тригерні датчики дотику зазвичай складаються з двох або більше електродів або контактних точок, які розташовані таким чином, щоб утворювати замкнуте або відкрите коло. При дотику об'єкта до датчика, електрична провідність між контактами змінюється, що веде до замикання або розмикання кола.

Коли дотик стає досить сильним або достатньо провідний, відбувається зміна в електричному опорі або струмі, що використовується для виявлення факту дотику. Ця зміна може бути використана для генерації сигналу або спрацювання тригера, що вказує на контакт об'єкта з датчиком.

Електроконтактні тригерні датчики дотику широко застосовуються у різних галузях, включаючи вимірювання розмірів, дослідження механічних властивостей матеріалів, автоматизовані системи контролю та багато іншого.

Датчики дотику з тензоелементами базуються на використанні тензоелементів, які змінюють свої електричні властивості при зміні деформації. Основний принцип роботи датчиків дотику з тензоелементами полягає в тому, що на поверхню датчика діє дотик або тиск, що призводить до деформації тензоелементів, які встановлені на поверхні. Тензоелементи є спеціальними датчиками, які змінюють свої опір, ємність або індуктивність при зміні деформації.

Зміна електричних властивостей тензоелементів внаслідок деформації дозволяє виміряти дотик або тиск, які діють на поверхню датчика. Ці зміни можуть бути виміряні і перетворені на вихідний сигнал, який вказує на силу дотику або тиску.

Скануючі сенсори дотику є спеціальним типом сенсорів, які використовуються для виявлення і вимірювання дотику на поверхні. Їх основною функцією є сканування площини або поверхні і визначення точок контакту з об'єктом.

Скануючі сенсори дотику можуть мати різні конструкції та принципи роботи, але основним елементом є матриця датчиків, розташованих на поверхні. Ця матриця сканує поверхню і реєструє зміни дотику або тиску в кожній точці.

Принцип роботи скануючих сенсорів дотику полягає у вимірюванні зміни електричних параметрів (наприклад, ємності, опору або потенціалу) в точках контакту з об'єктом. При дотику до поверхні сенсора, деформація або стиснення впливає на електричні властивості датчиків у відповідних точках. Ці зміни

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

реєструються сенсорною матрицею і передаються для обробки та визначення координат дотику.

Лінійні індуктосини є типом датчиків, які використовують принцип електромагнітної індукції для вимірювання лінійних переміщень. Вони широко застосовуються в різних областях, де потрібно точне і надійне вимірювання положення або відстані.

Принцип дії лінійних індуктосинів базується на зміні індукції магнітного поля при переміщенні. Ці датчики складаються з магнітного серця і намотки, яка зв'язана з переміщуваним об'єктом або деталлю. При руху об'єкта змінюється магнітне поле, що проходить через намотку, і це призводить до індукції електричного сигналу в намотці. Вимірюючи цей електричний сигнал, можна встановити положення або відстань переміщення об'єкта.

Особливістю лінійних індуктосинів є їхній високий рівень точності, довгий термін служби та можливість працювати в широкому діапазоні температур і умов. Вони також характеризуються високою надійністю і швидкістю реакції, що робить їх відповідними для вимірювання руху або положення в промислових і автоматизованих системах.[20]

Інкrementальні енкодери є одним з типів датчиків, які використовуються для вимірювання положення, швидкості та напрямку обертання рухомих валів або механізмів. Вони забезпечують інформацію про зміну положення інкрементально, тобто вказують на кількість обертів або зміну кута на основі вихідних сигналів, що залежать від руху.

Основна структура інкрементального енкодера включає оптичний датчик, що генерує електричні сигнали при проходженні маркерів (звичайно фотодіодів) на шкалі або диску, який знаходиться на рухомому валу. Шкала або диск містить оптичні маркери, такі як пази або вирізи, розташовані по колу. При обертанні вала, оптичний датчик реєструє зміни відбитих або перешкоджених сигналів від маркерів, генеруючи вихідні електричні сигнали.

Інкrementальні енкодери зазвичай надають два основних види сигналів: сигнал з високою роздільною здатністю (кодерований сигнал) і сигнал з рухом (тактовий

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сигнал). Кодерований сигнал представляється у вигляді двійкового коду або грей-коду, де кожний маркер має свій унікальний код. Тактовий сигнал, або імпульсний сигнал, генерується при кожному проходженні маркера, вказуючи на наявність руху.

Для визначення положення або переміщення рухомого вала з використанням інкрементального енодера, необхідно враховувати кількість маркерів на шкалі, роздільну здатність датчика та правильне відліку інформації з кодерованого сигналу. Крім того, для вимірювання швидкості і напрямку обертання використовується аналіз частоти та фази сигналів.

Абсолютні енодери є ще одним типом датчиків, які використовуються для вимірювання положення з високою точністю. Основна відмінність абсолютного енодера від інкрементального полягає в тому, що абсолютний енодер здатний надати безперервну інформацію про абсолютну позицію об'єкта без необхідності повторного відліку початкової позиції.[19]

Принцип дії абсолютного енодера полягає в тому, що на рухомому валу або диску розташовані оптичні маркери, які представляють унікальний код або позиційну інформацію. При обертанні вала, оптичні датчики реєструють положення маркерів і генерують вихідний сигнал, що відповідає точній абсолютній позиції. Цей сигнал може бути у формі двійкового коду, грей-коду або іншого варіанту, який інтерпретується контрольною системою для визначення точної позиції.

Однією з переваг абсолютних енодерів є те, що вони надають точну інформацію про положення навіть після включення живлення або зупинки системи. Це робить їх особливо корисними для вимірювання положення в системах, де точність і надійність є критичними.

Абсолютні енодери широко використовуються в головках координатно-вимірювальних машин. Вони дозволяють отримувати точні дані про положення об'єкта без необхідності повторного калібрування або початкового відліку, що сприяє забезпеченню високої точності та ефективності вимірювань.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

ВИСНОВКИ ТЕОРЕТИЧНОГО РОЗДІЛУ

У теоретичному розділі роботи було проведено дослідження та аналіз основних аспектів контролю геометричних параметрів виробів за допомогою координатно-вимірювальних машин (КВМ).

Було розглянуто геометричні параметри виробів, які підлягають контролю, такі як розміри, форма, положення та інші характеристики. Важливість вимірювання цих параметрів полягає у забезпеченні відповідності виробів вимогам якості та специфікаціям.

Був проведений огляд систем контролю геометричних параметрів виробів, де було розглянуто різні підходи та методики, які використовуються для вимірювання та контролю цих параметрів. Описано принципи вимірювання, а також відповідні датчики, які застосовуються в КВМ. Розглянуто різні типи датчиків, їхні принципи роботи та особливості застосування.

Також було детально розглянуто координатно-вимірювальні машини (КВМ) як основні пристрої для виконання вимірювань. Визначено їхню роль у забезпеченні точності та повторюваності вимірювань. Описано поширені типи КВМ, такі як горизонтальні, вертикальні та порталні машини, та їхні особливості.

Окрема увага приділена голівкам координатно-вимірювальних машин, які є ключовими елементами системи вимірювань. Були розглянуті різні типи голівок, їхні можливості та особливості застосування. Описано датчики, які використовуються в голівках КВМ для вимірювань, із вказівкою на їхні принципи роботи та переваги.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

2 ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок щупа

Розрахунок вимірювального наконечника є важливою частиною проектування вимірювальних систем. Вимірювальний наконечник є контактною точкою, яка взаємодіє з об'єктом вимірювання і передає сигнал до датчика або датчиків, що знаходяться у вимірювальній головці.

Міцність щупа координатно-вимірювальної машини включає кілька факторів, які необхідно врахувати. Основні фактори, що впливають на міцність щупа, включають його матеріал, геометрію та розмір.

Вибір матеріалу для щупа впливає на його міцність. Матеріали, які використовуються для виготовлення щупів, повинні мати високу міцність, стійкість до зношування та довговічність. Поширеними матеріалами для щупів є сталеві сплави, карбід вольфраму, кераміка та нержавіюча сталь. Вибір матеріалу залежить від конкретних вимог щодо додаткових властивостей, таких як електрична провідність, магнітні властивості тощо.

Геометрія щупа впливає на його функціональність, точність та міцність. Основні параметри геометрії, які важливі при розрахунку щупа, включають форму, довжину, діаметр.

Форма щупа може бути різною, включаючи циліндричну, конічну, кулясту або спеціальну форму в залежності від вимог конкретного вимірювання. Вибір форми залежить від природи об'єкта вимірювання та області, яку потрібно виміряти. Наприклад, конічний щуп може забезпечити точніше позиціонування, а кулястий щуп може бути корисним для вимірювання округлих або кривих поверхонь, коли конусоподібна форма може забезпечити кращу стійкість і точність позиціонування щупа, а пружні елементи в конструкції можуть допомогти поглинути удари та забезпечити стабільну контактну силу.

Довжина щупа визначає його діапазон вимірювання та доступність до вимірюваного об'єкта. Вибір довжини залежить від конкретних вимог, таких як

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

глибина проникнення, область вимірювання та обмеження простору. Довжина щупа повинна бути достатньою для забезпечення потрібної точності вимірювання, але не такою великою, щоб займати забагато місця або бути нестабільною. Діаметр щупа впливає на його міцність та точність. Товстий щуп може мати високу міцність, але може бути менш точним у вимірюванні деталей з вузькими просторами. Тонкий щуп може бути більш точним, але менш міцним. Збільшення розміру щупа може збільшити його міцність, але при цьому можуть виникнути обмеження в точності вимірювання або доступності до складних об'єктів. Важливо знайти баланс між міцністю щупа і його функціональністю в конкретному застосуванні.

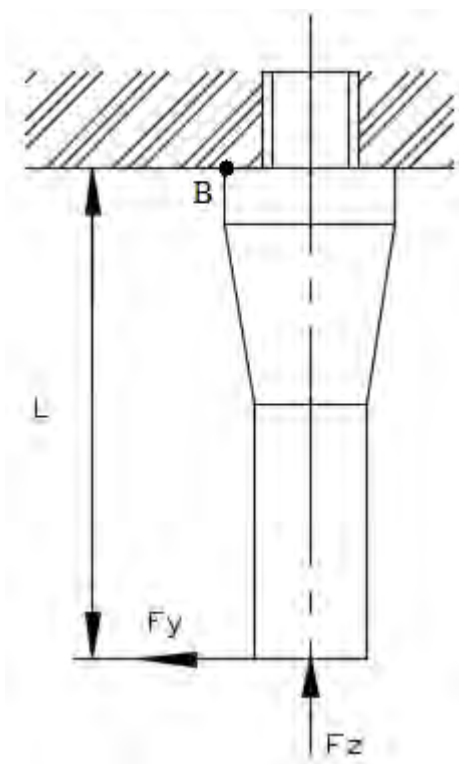


Рисунок 2.1 - Схема щупа

Здійснимо розрахунок міцності вимірювального щупа (рис. 2.1) за наступними даними:

- Поперечна сила, що діє на стержень: $F_y = 0,2 \text{ Н}$.
- Стискуюча сила: $F_z = 2 \text{ Н}$.
- Діаметр щупа: $d = 3 \text{ мм}$.
- Загальна довжина щупа: $l = 30 \text{ мм}$.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Для розрахунку максимального нормального напруження в небезпечному розрізі використаємо принцип незалежності дії сил.

Максимальне нормальне напруження в небезпечному розрізі σ_{max} буде рівне сумі нормальних напружень, викликаних поперечною силою та стискуючою силою:

$$\sigma_{max} = \sigma_y + \sigma_z,$$

де σ_y - нормальне напруження, викликане поперечною силою,

σ_z - нормальне напруження, викликане стискуючою силою.

Для розрахунку σ_y та σ_z скористаємося формулами:

$$\sigma_y = \frac{F_y * l}{W},$$
$$\sigma_z = \frac{F_z}{A},$$

де A та W - поперечні площі розрізів круга та циліндра, відповідно.

Для розрахунку A та W скористаємося формулами:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4},$$
$$W = \frac{\pi * d^3}{32},$$

Максимальні сумарні напруги виникнуть в точці В і будуть напругами розтягнення:

$$\sigma_B = \sigma_y + \sigma_z.$$
$$\sigma_B = \frac{F_y * l}{W} + \frac{F_z}{A},$$

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\sigma_B = \frac{F_y * l * 32}{\pi * d^3} + \frac{F_z * 4}{\pi * d^2},$$

$$\sigma_B = \frac{0,2 * 30 * 10^{-3} * 32}{3,14 * 3^3 * 10^{-9}} + \frac{2 * 4}{3,14 * 3 * 10^{-6}} = 7,6433 * 10^6 + 0,6369 * 10^6$$

$$\sigma_B = 828 \text{ кПа}$$

Розрахуємо допустиму напругу:

$$[\sigma] = \sigma_{max} * K,$$

$$[\sigma] = \sigma_B * K,$$

де K - коефіцієнт безпеки.

$$[\sigma] = 828 * 10^3 * 2 = 1656 \text{ кПа.}$$

Щуп витримує напруги так як, $\sigma_y < [\sigma]$.

При збільшенні сили, що діє на поверхню наконечника маємо такі результати (рис. 2.3 – 2.5) отримані з допомогою програмного комплексу САПР SolidWorks.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50



Рисунок 2.2 – 3Д модель вимірювального щупа

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						51
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

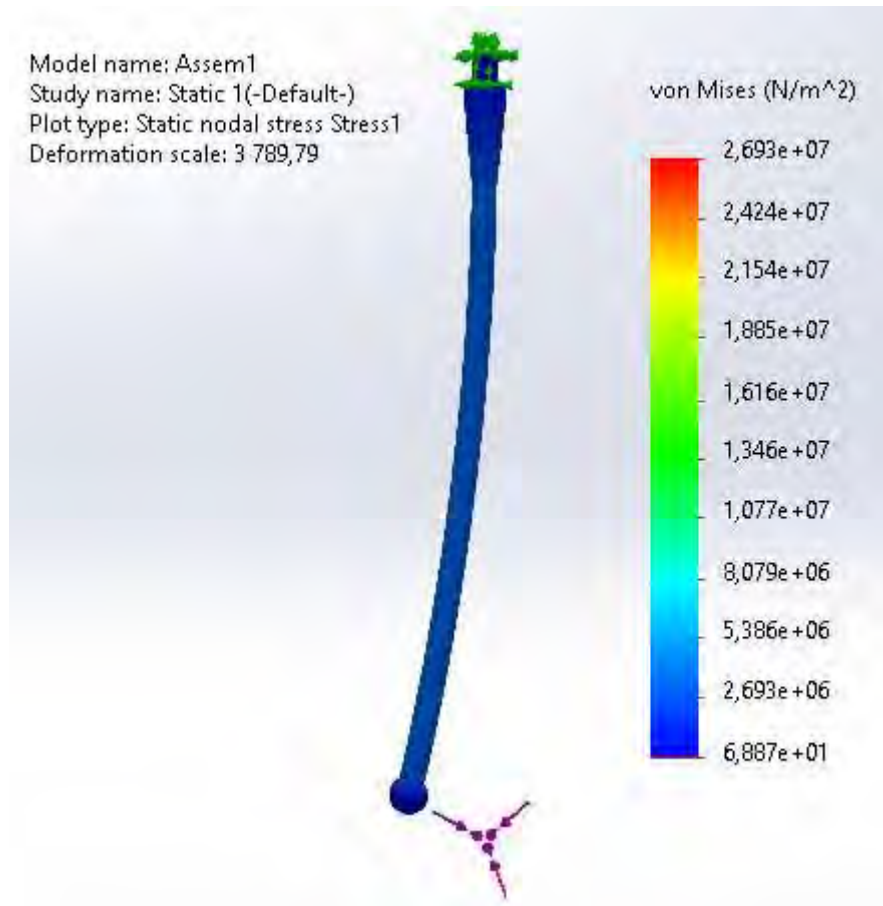


Рисунок 2.3 - Статичне вузлове напруження

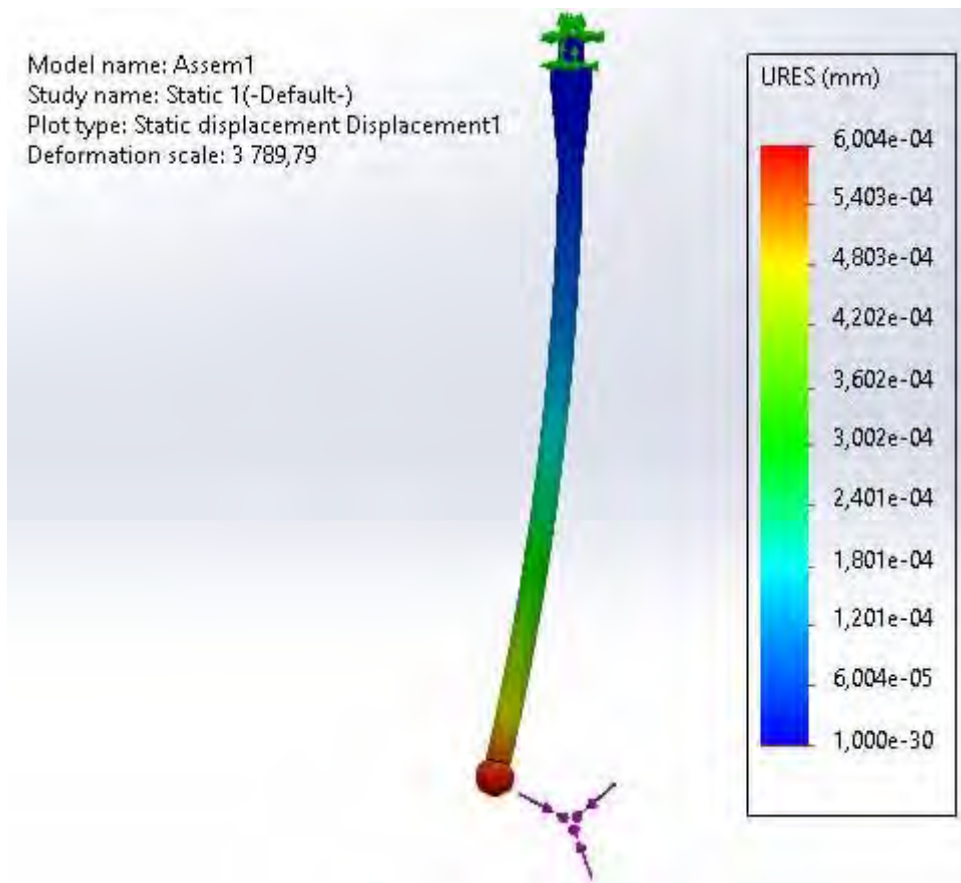


Рисунок 2.4 - Статичне зміщення

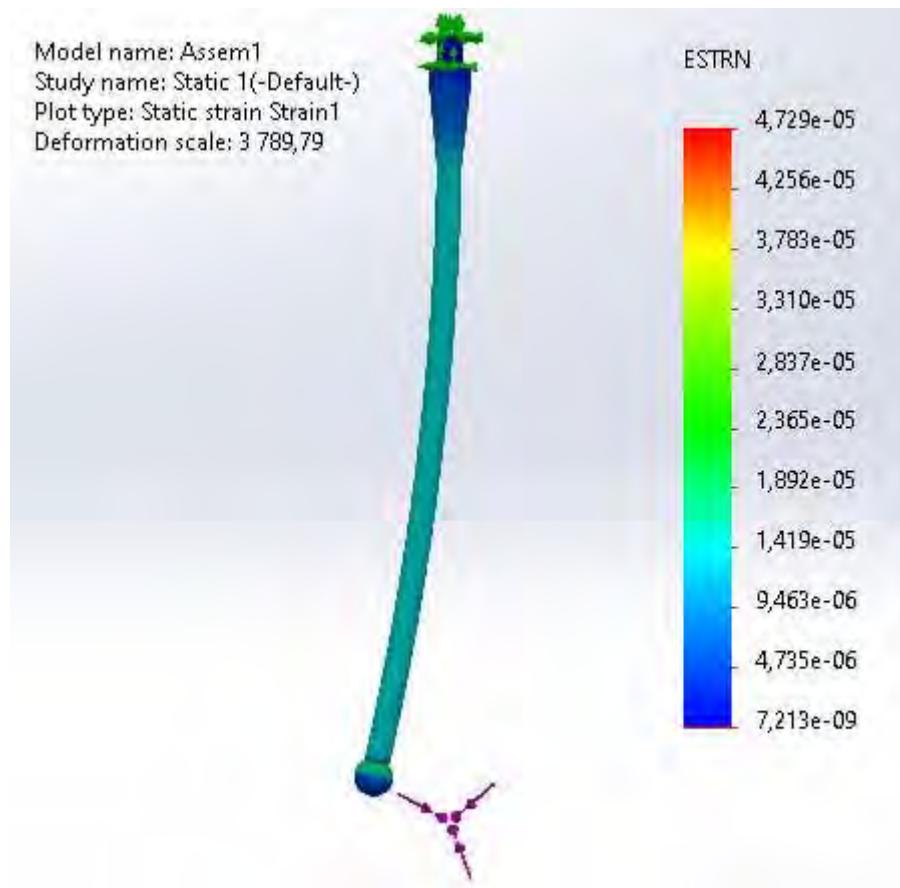


Рисунок 2.5 - Статична деформація

Розрахунок вимірювального наконечника вимагає докладного аналізу і врахування багатьох параметрів, забезпечуючи його відповідність вимогам вимірювання. Це дозволяє забезпечити точність, надійність та тривалу роботу вимірювальної системи.

2.2 Розрахунок пружини

Пружини є важливими елементами в багатьох механічних системах і використовуються для зберігання та відновлення енергії. Вони зазвичай виготовляються з металевих матеріалів, таких як сталь, та мають гнучку спіралевидну форму.

Основна властивість пружин - це їх жорсткість, яка визначається площею поперечного перерізу та матеріалом, з якого вони виготовлені. Жорсткість пружини

вказує на те, як сильно вона протидіє змінам у своїй довжині при застосуванні зовнішньої сили. Чим більша площа поперечного перерізу або матеріал пружини, тим вона жорсткіша.

Пружини можуть бути використані для різних цілей, таких як амортизація, підвищення, зберігання енергії або стабілізація систем. Вони застосовуються у великому спектрі пристроїв і механізмів, в нашому випадку пружина буде використана у датчику.

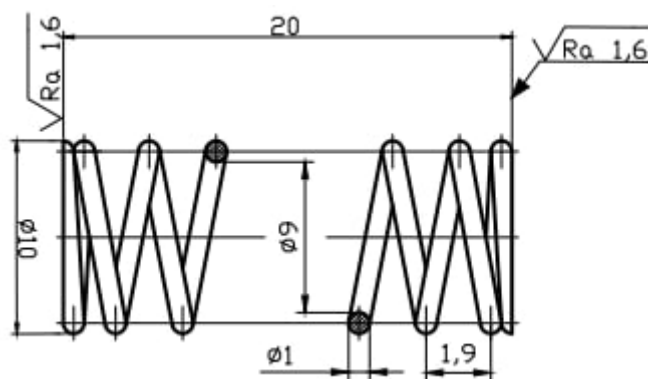


Рисунок 2.6 – Пружина стиснення

Враховуючи робочі умови та габаритні розміри вимірювального щупа, ми визначимо вихідні дані, необхідні для розрахунку геометричних розмірів пружини (рис. 2.6):

Зовнішній діаметр: $D_3 = 10$ мм;

Жорсткість пружини: $k = 1,12$ Н;

Діаметр дроту: $d = 1$ мм;

Число робочих витків: $n = 10,5$;

Число витків повне: $n_1 = 12,5$;

Висота у вільному стані: $L_0 = 20$ мм

Внутрішній діаметр пружини:

$$D_B = D_3 - d,$$

$$D_B = 10 - 1 = 9 \text{ мм},$$

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$D_B = 9 \text{ мм,}$$

Індекс пружини:

$$C = \frac{D}{d},$$

$$C = 9$$

Коефіцієнт впливу на напругу кривизни витків:

$$k = \frac{4 * c - 1}{4 * c - 4} + \frac{0,615}{c},$$

$$k = \frac{4 * 9 - 1}{4 * 9 - 4} + \frac{0,615}{9} = \frac{35}{32} + \frac{0,615}{9} = 1,093 + 0,068 = 1,161,$$

$$k = 1,161$$

Крок пружини:

$$t = \frac{L}{n},$$

де L - загальна довжина пружини,

n - кількість робочих витків пружини.

$$t = \frac{20}{10,5} = 1,9$$

$$t = 1,9$$

Модуль зсуву:

Беремо аустенітну низьковуглецеву нержавіючу сталь марки 08X18H10, в якій модуль зсуву буде дорівнювати:

$$G = 86 \text{ Гпа}$$

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переміщення одного витка під дією однієї загрузки:

$$f = \frac{8 * D^3}{G * d^4}$$

$$f = \frac{8 * 10^3 * 10^{-9}}{86 * 10^9 * 10^{-12}} = 0,093 * 10^{-3}$$

$$f = 0,093 * 10^{-3}$$

Розгортка пружини:

$$L = \pi * (n + 2) * (D - d)$$

$$L = \pi * (10,5 + 2) * (10 - 1) = 339,12 \text{ мм}$$

$$L = 339,12 \text{ мм}$$

Маса пружини:

$$m = \rho * V,$$

де ρ – щільність матеріалу пружини, для нашого матеріалу $\rho = 7,74 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

V - об'єм пружини

$$V = \frac{\pi * d^2 * L}{4} = \frac{3,14 * 10^{-2} * 33,912}{4} = 0,266 \text{ см}^3$$

$$m = 0,266 * 7,74 = 2,05 \text{ г}$$

$$m = 0,00205 \text{ кг}$$

Розрахунок навантаження:

$$F = k * \Delta L,$$

де k – жорсткість пружини,

ΔL – зміна довжини пружини,

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Контрольні висоти для пружини: $L1 = 15$, $L2 = 12$, $L3 = 9$.

$$F1 = 1,12 * (20 - 15) = 5,60,$$

$$F2 = 1,12 * (20 - 12) = 8,96,$$

$$F1 = 1,12 * (20 - 9) = 12,30.$$

2.3 Датчик дотику

Датчик дотику - це пристрій, який використовується для виявлення і вимірювання фізичного контакту між сенсором і об'єктом. Він здатний реагувати на прикладену силу або тиск і передавати цю інформацію в електронну форму для подальшого аналізу або обробки даних.

На КВМ вони виявляють контакт з деталлю, вимірюючи параметри цього контакту, такі як сила, деформація або зсув. З цими вимірюваннями КВМ може точно визначати координати точок деталі або її поверхні.

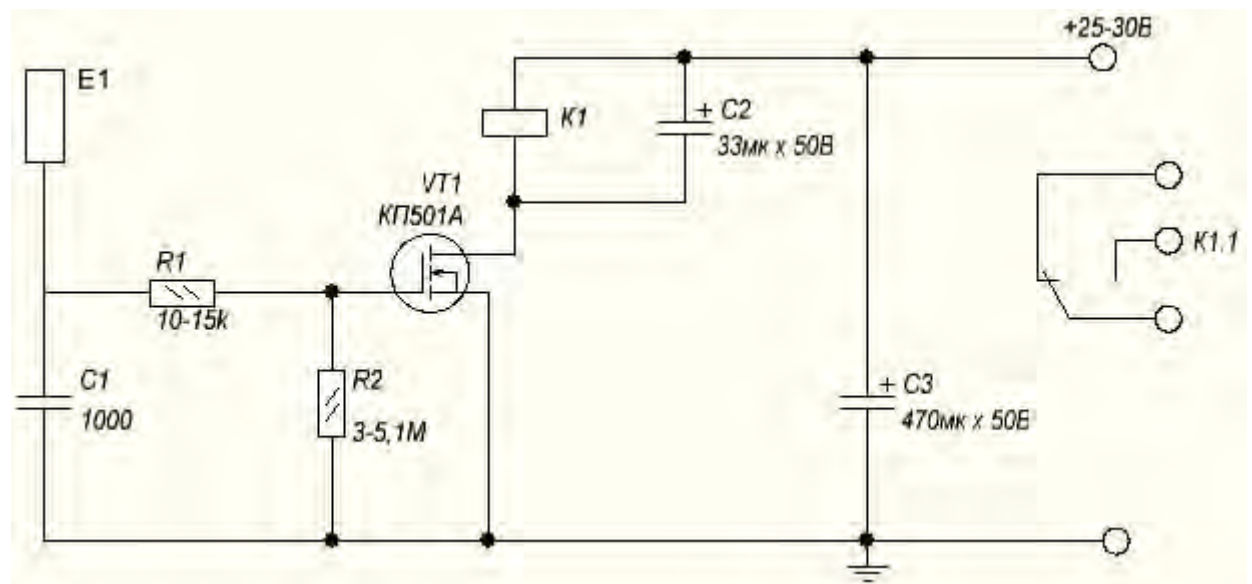


Рисунок 2.7 – Датчик дотику

Торкання датчика (рис. 2.7), еквівалентно підключенню антени до чутливого входу підсилювача. Це призводить до того, що мережевий струм надходить на затвор польового транзистора, який виступає в ролі електронного перемикача. Датчик дотику використовує простий польовий транзистор КП501А. Цей транзистор може пропускати струм до 180 мА при максимальному напрузі від стоку до стоку в 240В. На його вході є діод для захисту від статичної електрики.

Польовий транзистор має великий вхідний опір, що дозволяє йому використовуватись зі статичною напругою, що перевищує порогове значення. Для цього типу польового транзистора номінальна порогова напруга становить 1...3 В, а максимально допустима - 20 В. При торканні до сенсора Е1, потенціал, що подається на затвор, достатній для відкриття транзистора. При цьому на стоці VT1 генерується електричні імпульси з тривалістю 35 мс і частотою 50 Гц. Для перемикачання більшості електромагнітних реле потрібно лише 3...25 мс. Для запобігання спрацюванню реле в момент дотику, до схеми включений конденсатор С2.

Завдяки заряду на конденсаторі, реле залишатиметься увімкненим навіть в той напівперіод мережевої напруги, коли VT1 закритий. Протягом торкання до сенсора реле перебуває в увімкненому стані. Конденсатор С1 забезпечує стійкість датчика до високочастотних радіоперешкод. Механізм регулювання чутливості сенсора до дотику досягається зміною ємності С1 і опору R1. Група контактів К1 відповідає за керування зовнішніми електронними пристроями.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Контактна вимірювальна голівка

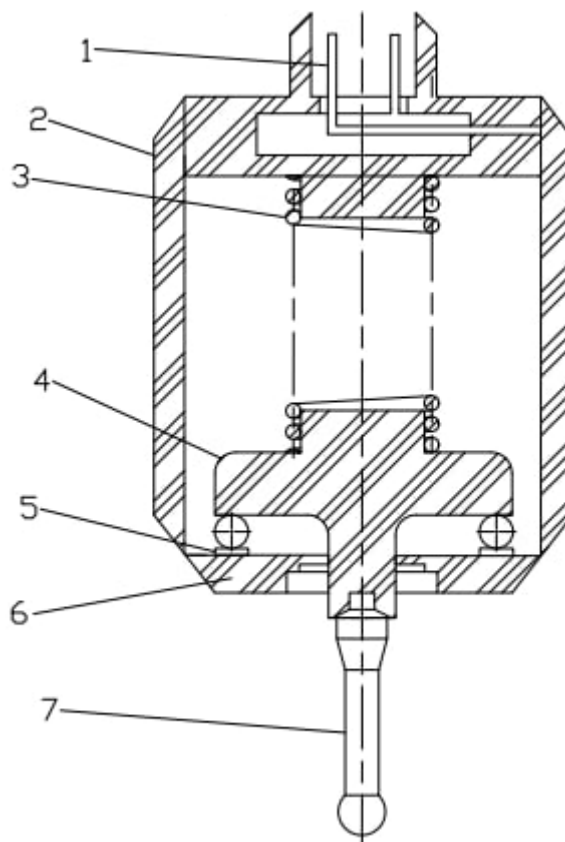


Рисунок 2.8 – Контактна вимірювальна голівка

На рис. 2.8. схема контактної вимірювальної голівки, що складається з: 1 – роз'єм; 2 – корпус; 3 – пружина; 4 – фланець; 5 – датчик дотику; 7 – щуп;

Голівка складається з корпусу (2), у основі корпусу (6) через 120 град. встановлені три пари кульок які тиснуть на датчик дотику (5), до якого прикріплений щуп (7), що складається зі штоку і контактного елемента. Фланець (4) притиснутий пружиною (3). Роз'єм (1) призначений для електричного приєднання голівки до КВМ.

При зіткненні наконечника з деталлю фланець повертається відносно осі, перпендикулярної осі голівки, або переміщається уздовж осі. Після цього кулька тисне щонайменше на один датчик дотику, що використовується для утворення керуючого сигналу. Головки чутливі в різних напрямках і на півпросторі $\pm X, \pm Y, \pm Z$.

Вимірювальна голівка може бути швидко налаштований по одній зразковій деталі, величина контрольованого розміру якої повинна бути атестована за

					ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

індикатором. У контактній вимірювальній голівці робоча пружина створює зусилля R_p , необхідне для подолання сил тертя і ваги рухомих частин датчика і створення необхідного вимірювального зусилля R_p .



Рисунок 2.9 – Структурна схема роботи автоматизованої системи перетворення лінійного/кутового параметру

На рис. 2.9 представлена структурна схема перетворення лінійного чи кутового параметру. Голівка КВМ оснащена датчиком дотику, який може реагувати на контакт з об'єктом вимірювання. Цей датчик реєструє зміни при торканні голівки до об'єкта.

Коли голівка торкається об'єкта, датчик дотику відправляє аналоговий сигнал, який залежить від параметрів дотику, наприклад, сили чи іншої фізичної величини. Аналоговий сигнал вводиться в вхідний канал АЦП. АЦП може мати кілька вхідних каналів, якщо потрібно зчитати дані з різних датчиків або сигналів. АЦП відбирає та квантує аналоговий сигнал. Відбір включає вибірка значень сигналу з певною частотою, а квантування полягає в призначенні цифрових значень відповідно до амплітуди аналогового сигналу. Цифрові значення представляються у вигляді бінарного коду.

Мікроконтролер надає сигнали управління для АЦП, такі як сигнали зчитування, запису, вибору каналу, режиму роботи та інші, щоб налаштувати АЦП для зчитування аналогових сигналів. Потім відправляє команди до АЦП для початку процесу перетворення аналогових сигналів на цифрові значення. АЦП виконує перетворення і надсилає цифрові дані мікроконтролеру. Далі мікроконтролер отримує цифрові дані від АЦП і може виконувати подальшу обробку, наприклад, фільтрацію, калібрування, обчислення вимірювань або визначення параметрів на основі отриманих даних.

Цифрові дані, оброблені мікроконтролером, будуть використані програмною системою КВМ або комп'ютером для обробки даних, вимірювань та визначення параметрів дотику, таких як сила, опір, відхилення тощо. За допомогою отриманих результатів обробки даних алгоритм визначає вимірювальний результат, який може бути поданий у вигляді координат, відхилень, вимірювальних параметрів чи інших величин.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ВИСНОВКИ ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО РОЗДІЛУ

У технологічно-конструкторському розділі роботи було проведено розрахунки та розглянуто основні аспекти, пов'язані з розробкою та конструюванням елементів контактно-вимірювальної системи для координатно-вимірювальної машини.

Розрахунок пружини є важливим етапом у процесі проектування щупа. Були використані відповідні формули та методи для визначення необхідних характеристик пружини, таких як жорсткість та ходова частина. Це дозволяє забезпечити оптимальну роботу щупа та достатню чутливість при контактних вимірюваннях.

Розрахунок щупа передбачає визначення геометричних параметрів щупа, таких як діаметр та довжина, враховуючи вимоги до точності та доступність для вимірювання потрібних геометричних характеристик виробів. Відповідні розрахунки та аналіз допомагають забезпечити правильну функціональність та ефективність щупа.

Описано датчик дотику як ключовий компонент системи вимірювання. Були розглянуті різні типи датчиків дотику, їх принципи роботи та переваги. Вибір відповідного датчика дотику залежить від конкретних потреб та вимог проекту.

Контактна вимірювальна голівка є основним інструментом для виконання точних вимірювань. Були розглянуті різні типи голівок, їх особливості та можливості застосування. Враховуючи вимоги до вимірювань та доступність вимірюваних параметрів, обраний тип голівки може значно вплинути на точність та ефективність вимірювань.

Загальний аналіз розрахунків та конструкційних аспектів показує, що правильний підбір параметрів пружини, щупа, датчика дотику та голівки є важливим для забезпечення якісних та точних контактних вимірювань на координатно-вимірювальній машині.

Таким чином, робота в цьому розділі розкриває важливість розрахунків та проектування елементів контактно-вимірювальної системи, що допомагає забезпечити надійність, точність та ефективність вимірювань на КВМ.

					<i>ДПБ.ІІМ-91.04.1760.00.ІІЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході дипломного проекту були детально розглянуті та досліджені два важливі розділи: теоретичний розділ, що стосується контактної-вимірювальної системи координатно-вимірювальної машини, та технологічно-конструкторський розділ, що охоплює розрахунки та проектування елементів системи.

У теоретичному розділі було досліджено геометричні параметри виробів, системи контролю цих параметрів, принципи вимірювання та датчики, що застосовуються в контактних-вимірювальних машинах. Також були розглянуті різні типи координатно-вимірювальних машин та їхні голівки. Цей розділ надав необхідні теоретичні знання та розуміння для розробки та вдосконалення контактних-вимірювальних систем.

У технологічно-конструкторському розділі були проведені розрахунки та розглянуто ключові аспекти проектування елементів системи. Розрахунки пружини, щупа, датчика дотику та проектування контактної вимірювальної голівки допомогли забезпечити правильну функціональність, чутливість та точність вимірювань на КВМ.

Отже, результати досліджень та проектування в обох розділах підкреслюють важливість контактних-вимірювальних систем для досягнення якісних та точних вимірювань геометричних параметрів виробів. Працездатність та ефективність таких систем мають значення для підвищення якості виробництва, зменшення відхилень від заданих параметрів та забезпечення конкурентоспроможності підприємств.

Основні результати, отримані в цих двох розділах, можуть бути використані як основа для подальших досліджень та розробок у сфері контактних-вимірювальних систем на координатно-вимірювальних машинах.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боженко Л. І. Стандартизація, метрологія та кваліметрія ум машинобудуванні: Навч. посібник. – Львів: Світ, 2003. – 328 с.
2. Базієвський С.Д. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Підручник / С.Д. Базієвський, В.Ф. Дмитришин – Київ: Видавничий Дім «Слово», 2006. – 504 с.
3. Бичківський Р.В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: Підручник / Р.В. Бичківський, П.Г.Столярчук – Львів: Львівська політехніка, 2004. – 560 с.
4. Гапшис А. А, Каспарайтис А. Ю. Координатные измерительные машины//Станкостроение Литвы 1982, №14
5. Координатные измерительные машины В.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М.Б. Модестов, и др. М. Машиностроение, 1988. — 328с.
6. Разработка и исследование автоматических координатных измерительных машин/М. И. Коченов, В. А. Чудов и др.//Автоматизация сборочных процессов в машиностроении.1979.
7. Теоретичні основи структурно-параметричного геометричного моделювання виробів машинобудування В. В. Ванін, Г. А. Вірченко, П. М. Яблонський; КПІ ім. Ігоря Сікорського Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 223 с.
8. Серков Н. А. Измерение пространственно-сложных поверхностей на координатных измерительных машинах//Станки и инструмент 1982 №11.
9. Дунин - Барковский И.В. Взаимозаменяемость и технические измерения. М. Изд-во стандартов, 1987. — 352с.
10. Координатные измерительные машины В.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М.Б. Модестов, и др. М. Машиностроение, 1988. — 328с.
11. Кобрынский А.Е, Левковский Е. И.//Автоматизация измерений при применении координатных измерительных машин. Станки и инструмент.1979, №1.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Разработка и исследование автоматических координатных измерительных машин/М. И. Коченов, В. А. Чудов и др.//Автоматизация сборочных процессов в машиностроении.1979.
13. Справочник по электронно-измерительным приборам / Шкурин Г.П. / Воениздат, 1971. — 448 с.
14. Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении: учеб. для бакалавров, 2018. — 564
15. Глухов, В. И. Метрологическое обеспечение качества по точности геометрических величин: учеб. пособие / В. И. Глухов. — Омск: ОмГТУ, 2012. — 140 с.
16. Фу, К. Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. — М.: Мир, 1989. — 624 с.
17. Орнатський Д. П. Розробка комп'ютеризованої системи для контролю криволінійних поверхонь за допомогою індуктивних датчиків / Д. П. Орнатський, Н.В. Михалко, М. О. Катаєва // Технологический аудит и резервы производства. – №1/2. – 2016.– С. 83–90.
18. Орнатський Д.П. Підвищення точності та швидкодії вимірювань лінійнокутових величин потенціометричними датчиками / Д.П . Орнатський, М.О. Катаєва // Вісник Інженерної академії України. – № 4. – С 103 – 107.
19. Колосов О. С. Технічні засоби автоматизації і управління / Юрайт.2022. – 291
20. Стаття «Разработка технологической схемы сборки» – Режим доступа: https://libraryno.ru/5-5-razrabotka-tehnologicheskoy-shemy-sborkitexnol_proizv/
21. Справочник конструктора точного приборостроения / Г.П. Веркович, Е.Н. Головенкин и др. Под ред. К.Н. Явленского. Л. Машиностроение, 1989. 792с.

					<i>ДПБ.ПМ-91.04.1760.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65